DIE NATURWISSENSCHAFTEN

31. Jahrgang | 12. Februar 1943 | Heft 7/8

Das Gewitter und seine Entladungsformen.

I. Teil: Gewitterentstehung und Linienblitze[1]).

Von Franz Wolf, z. Zt. Göttingen.

Die letzten Jahrzehnte haben unser Wissen über die Gewittervorgänge, deren Wesen lange in tiefes Dunkel gehüllt war, ganz erheblich gefördert und sie einem wirklichen Verständnis nähergebracht. Einen Einblick in diese Dinge vermittelte bereits 1934 in dieser Zeitschrift der Aufsatz von A. v. Hippel (1). Allerdings geht die Fülle der Erfahrungen weit über diese Darstellung hinaus. Unmittelbare Beobachtungen an Gewittern, Laboratoriumsergebnisse sowie theoretische Überlegungen lassen sich heute schon zu einem recht vollständigen und befriedigenden Bild vom Mechanismus des Gewitters zusammenfügen, und es lohnt sehr wohl, die Vorgänge wieder einmal einer zusammenfassenden Überschau zu unterwerfen. Im vorliegenden ersten Teil soll es sich dabei zunächst um das Wesen des Gewitters als Gesamterscheinung sowie um den Mechanismus der gewöhnlichen Linienblitze handeln. In einem später erscheinenden zweiten Teil können dann auch die seltenen Entladungsformen des Kugelblitzes und des Perlschnurblitzes einer eingehenderen Behandlung unterzogen werden, da auch zu ihrer Deutung bereits erfreuliche Ansätze vorhanden sind.

A. Einige Erfahrungstatsachen.

An reinen Erfahrungstatsachen aus der Natur liefert zunächst die Meteorologie genauere Angaben über die verschiedenen Gewittertypen. In unseren Gegenden sind die „Wärmegewitter" vielfach die häufigsten, wenig seltener die „Frontgewitter", während die „Wintergewitter" nur sehr vereinzelt auftreten. Besonders übersichtlich gestalten sich Entwicklung und Aufbau beim Wärmegewitter, so daß wir einstweilen zweckmäßig dieses allein zur Erläuterung des Gewittermechanismus heranzuziehen brauchen. Abweichungen, die bei den anderen Gewittertypen auftreten, werden später zu streifen sein (Abschnitt F).

Unter geeigneten meteorologischen Vorbedingungen entsteht über einer durch starke Sonnenbestrahlung erhitzten Fläche, häufig begünstigt durch einen einzeln stehenden Berg, ein aufsteigender Strom von Warmluft. Die am Erdboden aus der Umgebung nachfließenden kühleren Luftmassen werden ebenfalls bald erwärmt und setzen den vertikalen Luftstrom fort, eine Art Schornsteinwirkung kommt zustande. In durchschnittlich 1,8 km Höhe findet Kondensation der Luftfeuchtigkeit zu Tröpfchen statt, die dabei freiwerdende Wärme verleiht erneuten Auftrieb. Eine Kumuluswolke beginnt sich aufzutürmen und wächst im Luftstrom bis zu Höhen von etwa 4 km über der Erde; vgl. die linke Seite von Fig. 3. Dann bildet sich, wenn der Strom nicht erlahmt, plötzlich ein Hut aus Federwolken um den Kopf des Kumulus, ein Zirrusschleier aus lauter feinsten Eiskriställchen, und wächst sich aus zu einem mächtigen Schirm, der gewöhnlich bis zu 6 km Höhe reicht. In Einzelfällen können die Höhen auch beträchtlich größer sein als die angegebenen. Für die Steiggeschwindigkeit der Luft sind von unten nach oben wachsende Werte zwischen 1 m/sec und dem erstaunlichen Betrag von etwa 50 m/sec beobachtet worden. — Mit der Vollendung des Zirrusschleiers ist das Gewitter erfahrungsgemäß voll ausgebildet, die Blitzentladungen lassen nicht mehr lange auf sich warten.

Über die Blitze selbst hat man zunächst folgende Erfahrungen zusammengetragen (2, 3, 4, 5). Die *Anzahl* der Blitze in einem Gewitter kann recht groß sein. Mehr als 1000 Schläge in 15 Minuten wurden beobachtet. Die *Blitzlänge* beträgt durchschnittlich 2—3 km, wenn auch erhebliche Abweichungen hiervon vorkommen. Die *Dicke* des fertig ausgebildeten Entladungskanals wird auf höchstens $^1/_2$ m, meistens viel geringer, eingeschätzt. Die Durchmesser der im Sandboden durch Zusammenschweißen der Körner gebildeten „Blitzröhren" bewegen sich beispielsweise in diesem Bereich. Schonland schloß aus Photoaufnahmen auf 23 cm Durchmesser des Hauptkanals, dagegen auf 11 cm für einen Nebenzweig (6). Wahrscheinlich erfolgt aber der Hauptteil der elektrischen Strömung und des Leuchtens auf noch viel engerer Bahn in einer „Seele" des Entladungskanals. Denn bei den auf Basalt hinterlassenen magnetischen Blitzspuren liegt das Maximum der Nord- und Südmagnetisierung nur 2—3 cm voneinander entfernt, und oft findet man, daß auch starke Blitze durch Fensterscheiben u. ä. rundliche Löcher von nur einigen Millimetern Durchmesser schlugen.

Für die *Stromstärke* des Blitzes hat zuerst Pockels 1898 Zahlenwerte angegeben durch die

[1]) Eingegangen den 15. August 1942. — Die hier wiedergegebene Behandlung von Gewittererscheinungen entstand ursprünglich aus ganz speziellem Anlaß. Auf Wunsch von verschiedenen Seiten bringe ich sie nachstehend in erweiterter Form zum Abdruck. Der zunächst erscheinende allgemeine Teil verfolgt in den Hauptabschnitten auch die Absicht, die Grundlagen zum Verständnis der im zweiten Teil zu behandelnden seltenen Blitzformen zu liefern. Er macht keinen Anspruch auf unbedingte Vollständigkeit der Literaturerfassung.

Untersuchung der remanenten Magnetisierung eisenhaltiger Gesteine wie Basalt, die in bekanntem Abstand vom Blitzeinschlag lagen. Auf Vorschlag von M. TOEPLER ist das Verfahren in neuer Zeit in technisch großem Maßstab mit Stahlstäbchen wiederholt worden, die in gegebener Entfernung von Blitzableitern durch den Blitzstrom magnetisiert werden. Auch durch die Induktionswirkung auf elektrische Fernleitungen oder auf eigens dazu aufgestellte Rahmenantennen sowie aus der Änderung des elektrischen Erdfeldes wurde auf die Stromstärke der Blitze geschlossen. Die Beobachtungen zeigen übereinstimmend, daß die große Mehrzahl der Blitze Ströme von wenigen tausend bis zu 20000 Amp führt. Stromstärken über 20000 Amp kommen immer seltener vor. 250000 Amp dürften etwa die praktische Höchstgrenze darstellen. — Dieselben Methoden ermöglichen auch die Ermittlung der im Blitz auftretenden *Stromrichtung*, die jedoch nicht mit der später zu behandelnden Wachstumsrichtung des erst in Entwicklung begriffenen Blitzes verwechselt werden darf. In der überwiegenden Anzahl der untersuchten Schläge — bei verschiedenen Beobachtungsreihen werden Zahlen zwischen 60 und 95% genannt — verläuft der Strom „von der Erde zur Wolke". Das kann an sich ebensogut bedeuten, daß positive Ladung von der Erde zur Wolke wie daß negative von der Wolke zur Erde getragen wird.

Die *Zeitdauer* eines Blitzschlages untersuchte zuerst O. N. ROOD 1873 durch Beobachtung eines glänzenden radialen Drahtes, der vom Blitz beleuchtet auf einer schwarzen Scheibe rotiert. Später folgten umfangreiche photographische Untersuchungen mit bewegter Kamera, mit denen B. WALTER 1903 den Anfang machte und auf die noch ausführlich einzugehen sein wird, sowie oszillographische Aufnahmen der Induktionsstöße, vor allem von NORINDER. Entgegen älteren, zu großen Angaben steht heute fest, daß die Dauer einzelner Blitzschläge zwischen nur 10 und 100 Milliontel Sekunden, meistens etwa 20 μsec beträgt. — Mit der Kenntnis von Zeit und Strom ergibt sich schließlich auch die Möglichkeit, die im Blitz insgesamt transportierte *Elektrizitätsmenge* anzugeben. Mit älteren, zu großen Zeitdauern glaubte man auf durchschnittlich 10 bis 20 Coulomb schließen zu können. Doch dürften dies seltene Maximalwerte sein, während gewöhnlich nur 1 Coulomb oder weniger transportiert wird.

ROODS Untersuchung der Blitzdauern ist vor allem auch durch die weitere Feststellung wichtig, daß der Blitz im allgemeinen gar kein einfacher, sondern ein *aus mehreren Einzelschlägen* zusammengesetzter Vorgang ist. WALTER (7) hat diese Teilentladungen dann mittels einer langsam rotierenden photographischen Kamera getrennt nebeneinander aufgenommen und ihren zeitlichen Abstand bestimmt. Diese Aufnahmen sowie spätere oszillographische Untersuchungen, auf die noch zurückzukommen sein wird, zeigten übereinstimmend, daß selten ein Blitzschlag wirklich einfach ist. Etwa 90% aller Blitze bestehen aus mehreren Schlägen, die einander in unregelmäßigen Abständen von weniger als 0,001 sec bis über 0,5 sec Dauer folgen. Bei so großen Pausen lassen sich die einzelnen Entladungen auch mit dem Auge erkennen. Gelegentlich sind über 40 Einzelschläge in einem Gesamtblitz beobachtet. Die Gesamtdauer des Vorganges kann dann bis zu 1 Sekunde betragen. Mit Hilfe der Registrierungen von zwei zueinander senkrechten Rahmenantennen (4) zeigte sich, daß die Teilentladungen auch nicht alle am gleichen Punkt in die Erde schlagen, sondern daß ihre Einschläge oft über eine größere Bodenfläche streuen. — Alle diese Untersuchungen haben aber auch einen früheren Irrtum beseitigt, indem sie eindeutig klarstellten, daß der Blitz *kein oszillatorischer* Vorgang ist. Die Registrierungen der elektromagnetischen Wirkungen des Blitzes zeigten

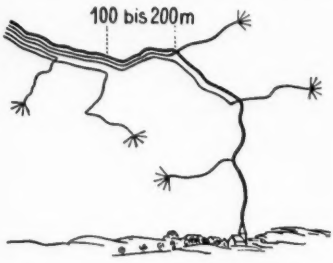


Fig. 1. Stufenbildung bei der Blitzentstehung (3).

stets, daß es sich nur um Stromstöße in einer Richtung — meist der oben schon angegebenen —, aber nie um elektrische Schwingungen handelte. Theoretische Überlegungen von WALTER sowie von TOEPLER machen Schwingungen auch gänzlich unwahrscheinlich.

Ein weiteres großes Verdienst von WALTER ist die Entdeckung, daß jeder Blitz oder in dem häufigeren Fall von Mehrfachblitzen der erste der Einzelschläge nicht in einem Guß entsteht, sondern sich nacheinander in einer *Reihe von Bildungsstufen* stoßweise von der Wolke zur Erde vorarbeitet, wie dies in Fig. 1 angedeutet ist. 20 und mehr solcher Stufen in einem Blitz wurden beobachtet. In den Pausen zwischen dem weiteren Vorrücken setzt auch die Leuchterscheinung fast gänzlich aus. Der Hauptkanal des Blitzschlages scheint dann den bestausgebildeten Vorentladungsstufen zur Erde zu folgen, während die beim Vortasten entstehenden schwächeren seitlichen Verästelungen ohne Verbindung mit dem Boden frei im Raum verlöschen. Dem Auge bietet sich der Vorgang dann etwa wie in Fig. 2 dar. — WALTER konnte endlich auch schon feststellen, daß der einzelne Blitzschlag, dessen Dauern oben angegeben waren, häufig noch von einem längerwährenden, wesentlich schwächeren *Nachleuchten* begleitet

wird, das sich über Zeiten bis zu einigen Zehntel Sekunden erstrecken kann. Er deutete diese Erscheinung durch eine nur langsame Entladung der Wolke infolge besonders erhöhten Bodenwiderstands am Einschlagsort.

B. Der Gewittermechanismus.

Welche Vorstellung hat man sich überhaupt vom Mechanismus des Gewitters zu machen, der alle diese Erscheinungen hervorbringt? Als erster hat MAX TOEPLER im Jahre 1917 eine umfassende Theorie des Gewitters gegeben (2, 3), deren Aussagen zum Teil erst noch in späteren Jahren durch experimentelle Erfahrungen aufs schönste bestätigt wurden und die daher im wesentlichen bis heute Gültigkeit besitzt. Ihr werden wir uns im folgenden vor allem anschließen.

Zur *Entstehung eines Gewitters* ist notwendig, daß zunächst elektrische Ladungen verschiedenen Vorzeichens in größerer Menge voneinander geschieden werden. Dann müssen diese Ladungen noch nach entgegengesetzten Vorzeichen voneinander räumlich getrennt werden, so daß zwischen ihnen ein elektrisches Feld entsteht. Eine Reihe verschiedener Mechanismen steht für diese Vorgänge in der Natur zur Verfügung, die — nach den zahlreichen Diskussionen über diesen Gegenstand (1, 2, 3, 4, 9, 10) — alle mehr oder weniger am Aufbau der Gewitter beteiligt sein dürften. Die wichtigsten seien hier aufgezählt.

Beispielsweise können in der Wolke aus ursprünglich neutralen Wassertropfen durch den von LENARD entdeckten *„Wasserfalleffekt"* geladene Tropfen entstehen (11, 12). Hierbei werden von der äußersten Haut großer Regentropfen durch turbulente Stöße des Aufwindes kleine Tröpfchen abgerissen, die negative Ladung mit sich forttragen. Der Luftstrom treibt sie nach oben, während die jetzt positiven Reste der schweren Tropfen unten zurückbleiben. Der Vertikalwind vollzieht also sowohl die Scheidung der Elektrizitäten wie den Aufbau eines von unten nach oben gerichteten Feldes durch ihre räumliche Trennung. Auf diesen Effekt als alleinige Ursache ist die von G. C. SIMPSON (13) entworfene und nach ihm benannte Gewittertheorie gegründet.

Nicht zu vernachlässigen ist auch die Mitwirkung der stets von selbst vorhandenen geschiedenen Ladungen (14), die durch die natürliche Radioaktivität der Erdkruste und die von außen einfallende Ultrastrahlung entstehen und deren Menge durchschnittlich auf $\pm 10^{-10}$ Coulomb/m³ in den untersten Luftschichten zu veranschlagen ist. Vom Aufwind mit nach oben gerissen, bilden zunächst die größeren geladenen Staubteilchen Kondensationskerne für die Bildung von Tröpfchen aus dem beim Aufsteigen entspannten Wasserdampf und formen damit die allerunterste Schicht der Kumuluswolke, also eine Schicht räumlich nicht getrennter Ladungen beiderlei Vorzeichens. Die freien Gasionen mögen sich teilweise an größere Tropfen anlagern, zum größten Teil aber steigen sie weiter auf und bilden nach Beseitigung des Staubes selbst Kondensationskerne für die weitere Abscheidung des Wasserdampfes. Hierzu besagen Laboratoriumserfahrungen, daß eine *fraktionierte Kondensation* eintreten muß, die abermals im Vertikalwind zu einer Ladungstrennung Veranlassung gibt. Die Ausscheidung von Tröpfchen findet nämlich an den negativen Ionen schon bei geringerer Entspannung des Dampfes, also in geringeren Höhen, statt als an den positiven. Während die negativen Tropfen rasch an-

Fig. 2. Verzweigter Blitz (8).

wachsen und deshalb nur noch wenig aufsteigen, werden die noch freien positiven Ionen weit in die Höhe gerissen und bilden dann erst Kerne für Tröpfchen oder wahrscheinlicher gleich für Eiskristalle. Ein elektrisches Feld umgekehrter Richtung als bei dem vorigen Prozeß bildet sich aus.

Noch ein anderer Mechanismus, der mit den von selbst in der Bodenluft vorhandenen Ladungen arbeitet, wurde von C. T. R. WILSON angegeben und zur Begründung der nach ihm benannten Gewittertheorie benutzt (15). Da er gleichzeitig einen *Influenzvorgang* anwendet, kann er auch als Abwandlung einer früh von ELSTER und GEITEL aufgestellten Influenztheorie (16) gelten. Wegen des stets schon im Falle guten Wetters vorhandenen schwachen elektrischen Feldes, das von positiven Raumladungen der Atmosphäre zur negativ geladenen Erdoberfläche zeigt, erfährt jeder Regentropfen durch Influenz eine Polarisation, die seiner oberen Hälfte eine negative, der unteren eine posi-

tive Aufladung erteilt. Fällt ein solcher Tropfen rasch abwärts und begegnet dabei langsam im Feld wandernden Gasionen, so werden diejenigen mit negativer Ladung von der positiven Vorderseite des Tropfens herangezogen und aufgenommen. Die positiven Ionen dagegen werden abgestoßen und finden keine Zeit mehr, sich von hinten der negativen Tropfenrückseite zu nähern und da einzudringen. So wird der Tropfen allmählich eine negative Überschußladung erhalten, die sich in der Wolke nach unten bewegt. Die Ansammlung negativer Ladungen im unteren Teil der Wolke bewirkt aber eine Verstärkung des ursprünglich nur schwachen Schönwetterfeldes darüber. Dadurch wird die Influenzierung der später fallenden Tropfen verstärkt, und der Einfangeffekt und damit die Ladungstrennung nehmen in immer wachsendem Maß zu. Das auf diese Weise entstehende Feld hat

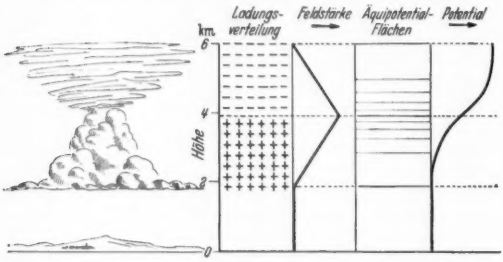


Fig. 3. Schema der Ladungs-, Feld- und Potentialverteilung in einem Wärmegewitter.

zunächst dieselbe Richtung von oben nach unten wie das vorige, das durch fraktionierte Kondensation entstand. Derselbe Vorgang kann aber auch ebenso wirksam ein umgekehrt von unten nach oben gerichtetes Feld verstärken und erhalten, wenn nur bei seinem Einsetzen statt des Schönwetterfeldes bereits ein solches, etwa durch den LENARDschen Wasserfalleffekt, vorgebildet war. Der Vorgang ist übrigens dadurch ausgezeichnet, daß er nicht wie die bisherigen den vertikalen Luftstrom, sondern die Erdschwere als Energiequelle zur Ladungstrennung braucht und daher möglicherweise in Fällen ohne wesentliche Winde bevorzugt zur Wirkung kommt.

Wenn man die Ergiebigkeit der verschiedenen Mechanismen zur Erzeugung elektrischer Ladungen unter nicht gerade unwahrscheinlichen Bedingungen rechnerisch abschätzt, so zeigt sich, daß sie alle nur sehr bescheidene Elektrizitätsmengen liefern, so daß nur jeweils nach vielen Minuten Pause ein Blitz mit der Gesamtladung von 1 Coulomb möglich wäre. Dabei sind aber in Wirklichkeit sehr große Blitzhäufigkeiten, mitunter mehr als 1 Blitz pro Sekunde beobachtet! Dieser Widerspruch löst sich in einfacher Weise dadurch, daß der *Blitz selbst als die wirksamste Quelle* elektrischer Ladungen anzusetzen ist. Wenn es erst einmal zu einem Blitz kommt, so entstehen in diesem Entladungsvorgang ungeheuer viele neue positive und negative Ionen, die die Zahl der im Raum frei beweglichen Ladungen außerordentlich erhöhen. Der Mechanismus der fraktionierten Kondensation und derjenige des Ioneneinfangs durch fallende Tropfen vervielfältigen damit schlagartig ihre Wirksamkeit, und jeder weitere Blitz setzt diese Vervielfachung fort. So werden die großen Blitzhäufigkeiten, die man beobachtet, auch quantitativ verständlich.

Durch die verschiedenen Mechanismen werden also übereinstimmend Ladungen entgegengesetzten Zeichens in vertikaler Richtung voneinander getrennt und in weiten übereinandergelagerten Schichten angesammelt, zwischen denen ein vertikales elektrisches Feld entsteht. Nur die Feld*richtung* kann bei den verschiedenen Vorgängen verschieden ausfallen. Da man tatsächlich in den Blitzen sowohl auf- als auch abwärtsgerichtete Ströme beobachtet, so deutet dies darauf, daß beide Möglichkeiten der Übereinanderschichtung positiver und negativer Elektrizität und damit auch beide möglichen Feldrichtungen wirklich vorkommen. Bei der Entstehung der einzelnen Gewitter werden demnach wohl die möglichen Erzeugungsvorgänge von Fall zu Fall in ganz verschiedenem Maß beteiligt sein. Allerdings war festgestellt, daß in der überwiegenden Zahl der Fälle die Stromrichtung Erde—Wolke beobachtet wird. Wir werden bald sehen, daß dieser Vorgang einer Schichtung entspricht, bei der die positiven Ladungen unten, die negativen oben gelagert sind. Hiernach dürften der von LENARD und SIMPSON herangezogene Wasserfalleffekt und nach Aufbau eines von unten nach oben gerichteten Feldes auch der WILSONsche Ioneneinfangprozeß in diesem Feld die wichtigsten Erzeugungsvorgänge der Gewitterelektrizität darstellen.

In Fig. 3 ist die Anordnung der getrennten Ladungen für diesen häufigsten Fall, den wir von jetzt ab festhalten, sowie die sich daraus ergebende Feld- und Potentialverteilung schematisch dargestellt. Zu Beginn des Gewitters wird die Wirklichkeit am wenigsten von diesen zwei übereinandergelagerten horizontalen Ladungsschichten abweichen. Durch Untersuchung herabfallender Regentropfen hat man auch die in solchen Wolken herrschende Ladungsdichte zu erschließen versucht. Es ergaben sich Werte von etwa 10^{-9} bis 10^{-8} Coulomb/m³, also 10—100mal soviel als die Dichte der stets vorhandenen spontanen Ladungen in der untersten Atmosphäre. Denkt man sich zur Vereinfachung die horizontale Ausdehnung der gleich dicken, homogen mit Ladungen erfüllten Schichten groß gegen ihre vertikale Erstreckung, so läßt sich leicht der Höchstwert der elektrischen Feldstärke ausrechnen, der nach Fig. 3 in der Grenzfläche zwischen den entgegengesetzten Ladungen — im Gewitter wohl annähernd der Grenze zwischen Kumulus- und Zirruswolke — erreicht wird. Mit dem sicher häufig vorkommenden Wert $3 \cdot 10^{-9}$ Coulomb/m³ der Ladungsdichte ergeben sich je nach der Gesamtdicke beider Schich-

ten, d. h. je nach der Höhe H des Gewitters zwischen unterem Ende des Kumulus und höchster Erhebung des Zirrusschirms die Werte F_{max} von Tabelle 1. In 2 weiteren Spalten sind auch noch

Tabelle 1.

Gewitterhöhe H in km	Feldstärke F_{max} in Volt/cm	Potentialdifferenz V in Millionen Volt	Gesamtladung über 4 km² $\mp Q$ in Coulomb
2	3600	360	12
4	7200	1440	24
8	14400	5760	48

die Potentialdifferenzen V, die sich zwischen oberstem und unterstem Ende der Doppelschicht der Ladungen und damit des Gewitters ausbilden, sowie diejenigen Gesamtladungen Q angegeben worden, die jeweils über einer Grundfläche von $2 \cdot 2$ km² in den beiden Schichten angesammelt sind. Man sieht, daß diese Mengen gut ausreichen, um die beobachteten Werte der in Blitzen transportierten Ladungen zu bestreiten. Nur durch die allerschwersten Blitzschläge würde die Wolke völlig entladen.

Außerhalb der elektrischen Doppelschicht bleibt das Potential in diesem Schema konstant. Sieht man von der Mitwirkung des auch ohne Gewitter stets vorhandenen geringen Feldes ab, das im Schönwetterfall nur 1 Volt/cm beträgt, also tatsächlich neben den obigen Feldstärken gänzlich zurücktritt, so sollen hiernach die Unterfläche der Kumuluswolke und die Erdoberfläche überhaupt genau dasselbe Potential haben, der Zwischenraum also feldfrei sein! Der Blitz darf hier offenbar gar nicht als Ausgleich einer großen Spannung zwischen Wolke und Erde wie ein Funke zwischen zwei Elektroden aufgefaßt werden! Diese überraschende Konsequenz der theoretischen Überlegung wird durch interessante Felduntersuchungen bei Gewittern tatsächlich bestätigt. Die alte, auf Benjamin Franklin zurückgehende Vorstellung eines großen Feldes zwischen Gewitter und Erdoberfläche, das durch den Blitz abgebaut wird, erweist sich als völlig falsch.

C. Messungen des elektrischen Feldes am Erdboden.

Experimentelle Untersuchungen der Feldverhältnisse auf der Erdoberfläche sind in großer Zahl ausgeführt worden. Für das Studium der Vorgänge bei Gewittern, das vor allem auch die Technik wegen der Einflüsse auf elektrische Fernleitungen interessiert, haben sich vor älteren, zu trägen Verfahren der Meteorologen die beiden folgenden Anordnungen bewährt. Die eine von C. T. R. Wilson (17) besteht im Prinzip aus einer in der Höhe des Erdbodens isoliert aufgestellten, horizontalen Metallplatte, die durch eine geerdete Kappe abwechselnd überdeckt oder dem Einfall der Feldlinien aus der Atmosphäre freigegeben werden kann. Im geöffneten Zustand influenzieren die Feldlinien auf der Plattenoberfläche eine gewisse Ladung. Bei Bedeckung durch die Kappe wird diese Ladung nicht mehr festgehalten, sondern ist bestrebt, zur Erde abzufließen. Durch geeignete Versuchsanordnung kann man sie hierbei galvanometrisch oder elektrometrisch messen. Mit der Größe der Ladung ist sofort auch die Größe der Feldstärke auf der Erdoberfläche angebbar. — Das andere Verfahren, das wohl Norinder (18) zuerst für diese Zwecke angewandt hat, besteht darin, daß man eine Hochantenne über einen empfindlichen Strommesser mit der Erde verbindet. Auch auf der Hochantenne sitzen ständig Ladungen, die durch das darüberliegende Feld influenziert sind. Ändert sich nun — infolge irgendwelcher Ladungsverlagerungen in der Atmosphäre, etwa durch Wind oder Blitz — das elektrische Feld über der Antenne, so muß sich die auf ihr influenzierte Ladung entsprechend ändern, d. h. es muß Ladung nach der Erde abfließen oder aus dieser nachströmen, und dieser Vorgang kann an dem zwischengeschalteten Galvanometer abgelesen werden. — Als Geräusch kennen wir alle diesen Vorgang von unseren Rundfunkempfängern[1]). — Man mißt hier also im Gegensatz zu dem Wilsonschen Verfahren nicht die Feldstärke selbst sondern die Änderungsgeschwindigkeit des Feldes, die dem jeweils beobachteten Galvanometerstrom proportional ist. Übrigens benutzte bereits Norinder als Strommesser einen Oszillographen, um auch sehr rasche Feldänderungen noch erfassen und zugleich photographisch registrieren zu können.

Das Wilsonsche Meßverfahren für die Feldstärke selbst wurde 1926 anläßlich größerer Untersuchungsreihen der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen in Deutschland durch A. Matthias (19) und seine Mitarbeiter in eine technisch vollendete Form gebracht. Indem man das frühere Auf und Zu der Deckelklappe durch eine rasch rotierende Anordnung ersetzte und zur Strommessung ebenfalls einen Oszillographen heranzog, wurde es möglich, alle hundertstel Sekunde einen Feldstärkewert zu registrieren und somit hieran auch schon recht rasche Feld*änderungen* zu erkennen. Unmittelbar daneben wurde überdies gleichzeitig der Strom aus einer Hochantenne in der Norinderschen Anordnung aufgezeichnet, um das eine Verfahren durch das andere zu kontrollieren und zu ergänzen. Außerdem ergibt sich erst so die Möglichkeit, mit Sicherheit den Abbau eines positiven Feldes vom Aufbau eines negativen zu unterscheiden. Neben diesen beiden Vorgängen wurden auf demselben Papier übrigens noch die Ströme zweier in Ostwest- bzw. Nordsüdrichtung aufgestellter Rahmenantennen zum Studium elektromagnetischer Blitzwirkungen (vgl. A) sowie der Schall der Donner registriert, um die ganzen Gewittererscheinungen durch möglichst viele Einzelangaben sicher festzuhalten.

Die Meßergebnisse aller dieser Untersuchungen zeigten — übereinstimmend mit noch einer ganzen

[1]) Wegen systematischer Untersuchung solcher Geräusche vgl. z. B. (43).

Reihe weiterer, z. B. (15, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27), vgl. auch E, F —, daß während der Gewitter am Erdboden nur verhältnismäßig kleine Feldstärken und Feldänderungen beobachtet werden, die vor allem auf keinen Fall ausreichen würden (vgl. D), um eine elektrische Entladung zwischen Wolke und Erde auszulösen. Daß im Gegensatz zu den obigen theoretischen Überlegungen überhaupt eine Feldstärke am Boden auftritt, ist nicht anders zu erwarten, da die Doppelschicht der Ladungen in der Wirklichkeit ja abweichend von unseren vereinfachenden Annahmen in ihrer seitlichen Ausdehnung verhältnismäßig beschränkt ist. Dadurch greifen die Feldlinien zwischen den positiven und negativen Ladungen der Doppelschicht in den

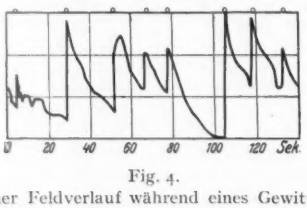


Fig. 4.
Zeitlicher Feldverlauf während eines Gewitters (4).

Raum der Umgebung hinaus und erzeugen auch am Erdboden eine schwache Komponente des im Gewitter vorhandenen Feldes (vgl. ferner F). Von dieser Nebenerscheinung abgesehen wird also die Voraussage der Theorie durch die Erfahrung bestens bestätigt. Zahlenmäßig gehen die beobachteten Feldwerte im allgemeinen nicht über 10 bis 100 Volt/cm hinaus, 500 Volt/cm werden selten erreicht. Sie sind damit zwar viel größer als das Schönwetterfeld, reichen aber längst nicht an die Feldstärken innerhalb der Gewitterwolken nach Tabelle 1 heran. Von NORINDER zuerst angegebene Werte um 2000 Volt/cm konnte er bei späteren Beobachtungen nie wieder finden, und solche bis 2800 Volt/cm, die gelegentlich in Amerika beobachtet wurden (28), müssen als *Folge* von Blitzen angesehen werden, die in nächster Nähe des Beobachtungsortes einschlugen, charakterisieren also nicht das ursprüngliche Feld unterhalb der Gewitterwolke.

Hiermit kommen wir zugleich auf eine wichtige Erscheinung, die zuerst von MATTHIAS und seinen Mitarbeitern festgestellt wurde und sich auf einen unmittelbaren Zusammenhang der luftelektrischen Feldstärke mit den Blitzschlägen bezieht. In den wenigsten Fällen stieg das Feld, wie man nach früherer Auffassung erwarten mochte, zuerst langsam an, um dann im Augenblick des Blitzes plötzlich zusammenzubrechen. Sehr häufig, bei vielen Gewittern sogar ausnahmslos, ergab sich ein ganz anderer zeitlicher Verlauf der Feldstärke, für den Fig. 4, eine Umzeichnung der Feldregistrierungen während eines Gewitters über zusammengedrängtem Zeitmaßstab, ein Beispiel gibt. Das Feld ist vor jedem Blitzschlag schwach und wächst erst im Augenblick des Schlages, der jeweils durch ○ am oberen Bildrand gekennzeichnet ist, sprungartig an, im Bild bis gegen 500 Volt/cm, bei (28) sogar auf 2800 Volt/cm, um danach allmählich wieder abzusinken, bis ein neuer Blitzschlag es abermals in die Höhe treibt. Von der alten Vorstellung, daß der Blitz eine große Spannung zwischen Wolke und Erde entlade, kann also hier gar keine Rede mehr sein. Im Gegenteil scheint gerade der Blitz selbst erst das große Feld aufzubauen, das danach — wahrscheinlich durch Regen, durch Sprühentladungen aus Spitzen der Erdoberfläche („Elmsfeuer") oder auch durch Weiterzug der Wolken — allmählich wieder zum Verschwinden gebracht wird.

D. Die Entstehung des Blitzes.

Was hat man sich nun überhaupt unter einem Blitz vorzustellen, und wie kommt er zustande? Auch hierauf antwortet in allen wesentlichen Zügen bereits die Theorie von TOEPLER (2, 3). — Wie eine Entladung analog dem Blitz ohne Elektroden beginnt, kann man oft im Laboratorium an Rillen und Hohlkehlen von Isolatoren beobachten, wenn sie wachsender Spannung unterworfen werden. Sobald eine gewisse Feldstärke, erfahrungsgemäß 30000 Volt/cm, überschritten wird, entstehen haarfeine, lichtschwache, bläuliche Leuchtfäden in Feldrichtung, die der Isolatoroberfläche parallel laufen, wie in Fig. 5a. Zufällig vorhandene Ionen und Elektronen erhalten offenbar im Feld genügende Energie, um zahlreiche neue zu erzeugen

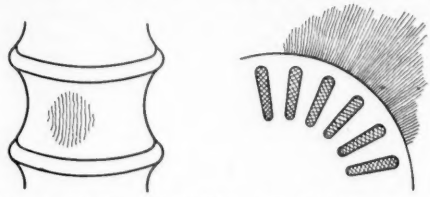


Fig. 5a und b. Leuchtfäden auf Isolator bzw. an Influenzmaschine.

und einen ersten leuchtenden Leitungsvorgang einzuleiten. Auch die bekannten zarten Leuchtfadenbüschel, die etwa von der Peripherie der Scheiben einer Influenzmaschine radial in den Raum hinauslaufen (Fig. 5b), wie man sie überhaupt oft von Teilen einer Hochspannungsquelle ausgehen sieht, bilden Beispiele für diese Erscheinung. Hält die Spannungssteigerung an, so beobachtet man, daß die Leuchtfäden am Isolator sich in einzelne hellere, rötliche, knisternde Funken wie in Fig. 6 umwandeln, die nur noch an ihren Enden die feinen Leuchtfäden tragen und als Stielbüschel bezeichnet werden. Eine stärkere Form elektrischer Leitung bildet sich aus. Auch in den Raum hinaus

Fig. 6. Stielbüschel auf Isolator.

kann man von den Elektroden der Spannungsquellen unserer Laboratorien solche Gebilde hervorschießen sehen, ehe es zu einem richtigen Funkenüberschlag kommt.

Zweifellos muß die Entwicklung des Blitzes ebenfalls mit derartigen Vorgängen beginnen, und man sollte seinen Mechanismus an Hand unserer Laboratoriumserfahrungen deuten können. Leider sind die im Raum sich entwickelnden Leuchtfäden und Stielbüschel des Laboratoriums so lichtschwach, daß es bisher nicht möglich war, sie photographisch festzuhalten und ihre Eigenschaften genauer zu studieren. Auch auf Blitzaufnahmen sieht man nur fertig entwickelte Funkenkanäle, aber nicht sie vorbereitende Leuchtfäden an ihren Enden. Auch diese müssen sehr lichtschwach sein, und ihr Bild auf der Photoplatte wird möglicherweise, wie man dies auch in anderem Zusammenhang kennt, durch das grelle Licht des eigentlichen Blitzes wieder ausgelöscht. Hingegen gelang es, den längs Isolatoroberflächen verlaufenden Entladungsformen im Laboratorium durch geeignete Versuchsanordnungen beizukommen. Erste Experimente dieser Art hat schon der bekannte Göttinger Physiker und Philosoph LICHTENBERG angestellt. Die genaue Durchforschung des Gebietes verdanken wir vor allem M. TOEPLER (29).

Fig. 7. Anordnungen zur Untersuchung von Gleitentladungen.

Zwei Anordnungen zur Untersuchung dieser „Gleitentladungen" sind in Fig. 7 im Querschnitt skizziert. Eine im wesentlichen senkrecht zur Bildebene sich erstreckende Isolatorplatte liegt zwischen zwei Metallelektroden, deren eine als Spitze, die andere als Platte, unter Umständen mit einer um den Isolator herumgreifenden Fortsetzung, ausgebildet ist. Legt man plötzlich Spannung an, so huschen je nach Versuchsbedingungen Entladungen der oben geschilderten Art von der Spitze aus über die Isolatorplatte hinweg, die man betrachten, aber auch auf einfachste Weise photographieren kann, indem man Photoplatten als Isolatorplatte verwendet Die Fig. 8 zeigt einfache Formen solcher „Gleitbüschel", links bei positiver, rechts bei negativer Spitze[1]). Die Eigenschaften dieser Büschel sind eingehend untersucht, vor allem die feinere Struktur der positiven und negativen Entladung in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen, z. B. die Längen der Funkenkanäle und Leuchtfäden im Zusammenhang mit der angelegten Spannung, die Verteilung des Spannungsabfalls auf die einzelnen Entladungsteile, die Wachstumsgeschwindigkeit u. a. m. Es zeigt sich beispielsweise, daß die auf der Photoplatte festgehaltenen Gleitbüschel, ganz ähnlich wie WALTER dies auch bei der Entwicklung der Blitze fand (A), gar nicht in einem Guß entstehen, sondern sich in Einzelstößen ruckweise vorarbeiten derart, daß jeweils nach kurzer Pause ein Leuchtfaden des bisherigen Büschels unter Umwandlung in einen Funkenkanal zum Ansatzpunkt für die Entstehung eines neuen Leuchtfadenbüschels wird[1]). Wesentlich für das Zustandekommen solcher „Ruckstufen" ist die geeignete Wahl der Nachlieferung der Elektrizitätsmengen. — Im einzelnen ergibt sich weiter, daß die Leuchtfäden, wenn sie erst einmal begonnen haben, stets bereits dann weiter und weiter fortzuwachsen imstande sind, wenn ihnen am Ende nur eine Feldstärke von — je nach Vorzeichen — 5000 bis 10000 Volt/cm zur Verfügung steht. Die Um-

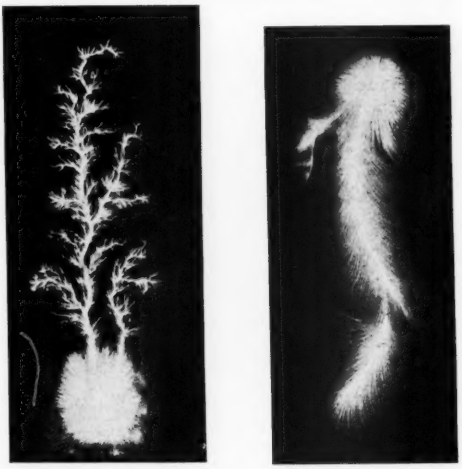


Fig. 8. Einfache Gleitentladungen (2), links Spitze positiv (unten), rechts Spitze negativ (oben).

wandlung zum stärkeren rötlichen Funkenkanal geschieht immer dann, wenn durch einen Leuchtfaden in kurzer Zeit die Ladung von etwa $3 \cdot 10^{-10}$ Coulomb hindurchgeflossen ist. Der Kanal reißt dann infolge der negativen Charakteristik die ganze elektrische Strömung aus der Umgebung an sich, die benachbarten Leuchtfäden erlöschen, ein Stielbüschel entwickelt sich weiter. Übrigens zeigt sich auch, daß die Entladung nicht auf dem Isolator selbst, sondern unmittelbar darüber in der Luft gleitet.

Es lag nun nahe, mittels der Erfahrungen an Gleitbüscheln eine Deutung der Blitzbildung zu versuchen. Die weitgehende Ähnlichkeit dieser ebenen mit den räumlichen Entladungsvorgängen im Laboratorium, die jeden Funkenüberschlag einleiten, sprechen für diese Möglichkeit, und quantitative Proben rechtfertigen den Versuch. Stimmt doch auch beispielsweise die bei den ebenen Gleitbüscheln festgestellte mittlere Wachstumsgeschwin-

[1]) Wegen der Feinheiten sehe man sich auch die klareren Bilder der Originalarbeiten (2) und (29) an.

[1]) Vgl. hierzu auch die Fig. 5 des später erscheinenden II. Teils dieses Aufsatzes.

digkeit von etwa 10^7 cm/sec recht gut mit derjenigen des beginnenden Blitzes von durchschnittlich $1{,}5 \cdot 10^7$ cm/sec (vgl. E) überein.

Die Blitzentladung muß demnach offenbar mitten in der Wolke an Stellen größter Feldstärke, d. h. in der Trennfläche zwischen den entgegengesetzten Ladungen (Fig. 3), ihren Ausgang nehmen. Es ist aber nicht nötig, daß hierzu F_{max} bis auf 30000 Volt/cm anwächst. Denn diese für den Ausbruch einer Entladung nötige Feldstärke kann bereits örtlich zustande kommen, wenn das allgemeine Feld nur auf 5000 bis 10000 Volt/cm angestiegen ist. Jeder Regentropfen beispielsweise verzerrt um sich das Feld. In seinem Innern wird es zu Null, über und unter ihm wächst es an, da die Äquipotentialflächen hier enger zusammengedrängt werden. Ein kugelförmiger Tropfen bewirkt zwar nur eine Verdreifachung des Feldes, doch kann die Steigerung bis zur nötigen Größe leicht zustande kommen, wenn der Tropfen im Wind in die Länge

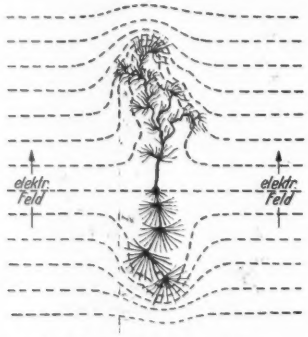


Fig. 9. Doppelstielbüschel wächst aus Regentropfen (30).

gezerrt wird oder gar Höcker und Ecken bekommt. Zuerst bricht nach oben ein positives Büschel der feinen bläulichen Leuchtfäden aus, das ein etwas geringeres Feld benötigt, und dann auch ein negatives nach unten, und beide wachsen in der großen Feldstärke rasch voran. Bald werden irgendwelche Fäden oben und unten durch stärkere Strombelastung zu Funkenkanälen und ziehen den ganzen Leitungsvorgang an sich. Nur von ihren Köpfen aus greifen die Leuchtfäden noch weiter in den Raum, Stielbüschel wachsen jetzt also nach beiden Richtungen vor (Fig. 9). Ihre Ausbreitung wird infolge der fortgesetzten Verwandlung von Leuchtfadenteilen in die besser leitenden Funkenkanäle, durch Ungleichmäßigkeiten im Nachfließen der Ladungen, auch durch Schwankungen der elektrischen Feldstärke an sich genau so ruckweise erfolgen wie bei den ebenen Gleitbüscheln des Laboratoriums. Genau wie dort geben die Haltepunkte Veranlassung zu Knicken in der Bahn oder zu Verzweigungen, die demnach auch beim Blitz durch denselben Entstehungsmechanismus ihre Erklärung finden können wie bei den Gleitentladungen. — Nachdem dieser Wachstumsvorgang aber einmal eingeleitet ist, kommt er auch so bald nicht wieder zum Stehen. Denn die für das Weiterwachsen der Leuchtfäden und damit der ganzen Entladung nötige Feldstärke von 5000 bis 10000 Volt/cm findet sich auch noch weitab vom Regentropfen. Sie war ja die Voraussetzung, daß es überhaupt zum Ausbruch einer Entladung kam. Die Blitzentwicklung beginnt also, sobald diese Feldstärke im Gewitter zur Verfügung steht. In Tabelle 1 war gezeigt, daß dies der Fall ist, wenn die Gesamthöhe des Gewölks auf etwa 4 km gestiegen ist. Tatsächlich sind die meisten Gewitter erfahrungsgemäß in diesem Zustand fertig ent-

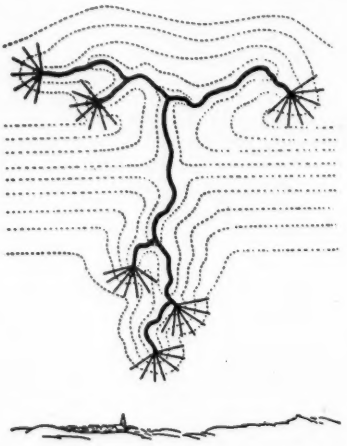


Fig. 10. Potentialverteilung um einen herabfahrenden Blitz (3).

wickelt, die Entladungen brechen los. — So liefern wirklich Laboratoriumserfahrung und theoretische Überlegung gerade dasselbe, was in der Natur tatsächlich beobachtet wird!

Bei dem in der Wolke gemäß Fig. 9 nach oben und unten wachsenden Doppelbüschel bildet der Stiel einen guten Leiter. Er wirkt daher etwa wie ein vertikal stehender Metallstab und erteilt das Potential der Wolkenmitte fort und fort auch weiter außen liegenden Stellen des Entladungsvorgangs. Dadurch werden die Äquipotentialflächen — ähnlich dem ursprünglichen Vorgang unmittelbar um den Tropfen — jetzt immer weiter nach oben und unten ausgestülpt. Während das ursprüngliche Feld in der Wolke gegen ihre obere und untere Begrenzung hin gegen Null absank und sicher bald zu klein wurde, um die Entladung von selbst weiterwachsen zu lassen, baut, wie TOEPLER es zuerst an den ebenen Gleitbüscheln beobachtete, diese selbst sich jetzt vor ihrem Kopf fort und fort ein großes Feld auf und wächst in ihm immer weiter vor. Für diesen Mechanismus bildet auch die untere Wolkengrenze keine Schranke,

er trägt auch in den zuvor feldfreien Raum zwischen Wolke und Erde ein Feld hinein, wie dies in Fig. 10 dargestellt ist. Der Blitz wächst über die Wolke hinaus. Natürlich kann, da längs der ganzen Entladung doch ein gewisser Spannungsabfall auftreten muß, bei sehr großer Ausdehnung der Erscheinung das Feld vor dem Entladungskopf schließlich doch so weit herabsinken, daß ein Weiterwachsen der Leuchtfäden nicht mehr möglich ist. Dann ist der Vorgang zu Ende, der Blitz bleibt im Raum stecken, wie dies auch in der Natur beobachtet wird (31). Bleibt aber das Feld groß genug, so wächst die Entladung so weit, bis sie schließlich auf die Erde aufstößt, der Blitz „schlägt ein". Erst unmittelbar vorher wird die Erdoberfläche von den dem Blitzkopf vorangehenden Potentialänderungen betroffen, die Meßinstrumente müssen ein plötzliches Emporschnellen der Feldstärke anzeigen, genau wie es nach C die praktische Erfahrung wirklich ergibt.

Die längs einer gesamten derartigen Blitzentladung, vom Beginn der Leuchtfäden des Kopfes über den Funkenkanal hinweg bis zum Ende der Fäden auf der Gegenseite, sich ausbildende Potentialdifferenz ist von TOEPLER auf Grund entsprechender quantitativer Erfahrungen an den ebenen Gleitbüscheln abgeschätzt worden. Er braucht dazu allerdings eine Annahme über die an sich unbekannte Länge der Leuchtfäden an beiden Blitzenden, die er der Beobachtung entnimmt, daß bei einem „Perlschnurblitz" der Abstand der einzelnen leuchtenden Perlen zu 7,5 m festgestellt ist[1]). Hiermit lassen sich dann die Spannungen unter verschiedenen Bedingungen ausrechnen, wofür die Tabelle 2 einige Beispiele liefert. Vergleicht man hiermit die in Tabelle 1

Tabelle 2. Potentialdifferenz zwischen den Blitzenden in Millionen Volt bei

Blitzlänge	2 km	4 km	8 km
Blitz unverzweigt. .	38,3	48,3	60,8
Blitz verzweigt. . .	25,5	30,2	36,0

angegebenen gesamten Potentialdifferenzen zwischen oberer und unterer Grenze der ladungführenden Doppelschicht, die naturgemäß von dem im Blitz auftretenden Spannungsabfall nie erreicht werden dürfen, so bleiben die errechneten Zahlen tatsächlich weit hinter den verfügbaren Gesamtspannungen zurück und ordnen sich damit ebenfalls befriedigend in unser Gesamtbild ein.

Die ganze Erscheinung des Blitzes bedeutet natürlich in erster Linie einen elektrischen Strömungsvorgang. Im Funkenkanal fließen, von Feldkräften getrieben, Ladungen verschiedenen Vorzeichens, und zwar bei der verabredeten Anordnung der Doppelschicht positive nach oben und negative nach unten. Dabei spielen wegen ihrer geringen Beweglichkeit Ionen die geringste Rolle. Der Hauptteil der Strömung dürfte durch frei im Kanal von oben nach unten wandernde Elektronen besorgt werden, die dann auch negative Ladung von der Wolke auf die Erdoberfläche tragen. Die Meßinstrumente müssen hierbei eine von der Erde zur Wolke gehende Richtung des positiven Stroms anzeigen, also gerade diejenige, die als der gewöhnlich beobachtete Fall in A angegeben wurde. — Über die atomistischen Einzelheiten des Entstehungsvorgangs solcher Leitungskanäle (im Anfangszustand Leuchtfäden) in Atmosphärenluft sind in neuerer Zeit einerseits wertvolle Laboratoriumserfahrungen gesammelt worden. Die Untersuchungen des Anfangsstadiums von Funkenüberschlägen in der WILSONschen Nebelkammer von RAETHER (32) bilden besonders wertvolle Beiträge in dieser Richtung. Andererseits liegt auch schon eine Reihe erfolgreicher theoretischer Behandlungen des atomistischen Entstehungsmechanismus eines Blitzkanals vor, z. B. (33, 34). Ein wesentlicher Zug des Vorgangs ist, daß das lawinenartige Anwachsen der Elektronenwolke im Kopf der Entladung offenbar nicht nur durch vielfältige Stoßionisation der Elektronen, sondern zum großen Teil auch durch Photoionisation verursacht wird[1]). Auch weit draußen vor dem Kopf der eigentlichen Entladung beginnen hierdurch soeben befreite Photoelektronen, ihrerseits durch Stoßionisation neue Lawinen in Bewegung zu setzen, die später mit dem weiterwachsenden Hauptkanal zusammenfließen. So wird beispielsweise verständlich, daß die beobachtete Wanderungsgeschwindigkeit des Blitzkopfes viel größer ist als diejenige der durch das Feld beschleunigten Elektronenwolken allein. Auch erfährt der Entladungskopf jedesmal, wenn er eine voraufeilende junge Elektronenlawine einholt, eine Verjüngung seines Durchmessers, was dazu beiträgt, daß man so erstaunlich kleine Dicken der Entladungskanäle, bei Blitzen wie im Laboratorium, beobachtet. Die elektromagnetische Kontraktion, die jeder Strom auf seine Leiterteile ausübt, und die elektrostatische Anziehung zwischen Ionen und Elektronen wirken in derselben Richtung.

E. Feinheiten in der Struktur der Blitze.

Da der Blitz nach unserer Darstellung hoch oben in der Gewitterwolke seinen Ursprung nimmt, können Einzelheiten in der Gestaltung der Erdoberfläche auf die Wahl dieses Ausgangspunktes keinen Einfluß haben, und wenn das Doppelbüschel unseres Schemas erst im Wachsen begriffen ist, so wird es, soweit nicht Ladungsanomalien im Raum es ablenken, annähernd senkrecht unter seinem Entstehungsort auf die Erde auftreffen, ohne sich um Oberflächenunregelmäßigkeiten wesentlich zu kümmern, da es ja sein Feld, das die Bahn bestimmt, selbst aus der Wolke mitbringt.

[1]) Näheres vgl. im später erscheinenden II. Teil dieses Aufsatzes.

[1]) Über das vom Blitz ausgesandte Spektrum vgl. z. B. (44).

Man sieht, daß hiernach auch nur eine geringe Einwirkung von Blitzableitern auf die Blitzbahn zu erwarten ist, es sei denn, daß es sich um sehr hohe und ausgezeichnet geerdete Gebilde handelt. Wie gering aber auch dann noch der Einfluß ist, erkennt man an der aus einer größeren Anzahl von Beispielen entnommenen Fig. 11, in der der Blitz erst im allerletzten Augenblick zu merken scheint, daß der Turm ihm einen bequemeren Weg darbietet. Übrigens scheinen — besonders in Fällen wie dem vorliegenden — dem herunterfahrenden Blitz infolge des im letzten Augenblick großen Feldes gelegentlich von der Erde aus selbständige Entladungen entgegenzuwachsen und dadurch die restliche Blitzbahn festzulegen. So deutet man auch in Fig. 11 das unterste Stück der Blitzbahn als aus dem Turm entgegenschlagende Entladung, die sich in dem scharfen Knick mit dem eigentlichen Blitz getroffen hat. Daß solche Gegenentladungen wirklich vorkommen, scheint auch die äußerst merkwürdige Aufnahme (Fig. 12) zu beweisen, wo dem von oben kommenden Blitzschlag aus gut leitendem Untergrund außerhalb der eigenen Bahn deutlich 2 Entladungen entgegenschlagen, während das untere Blitzbahnende selbst möglicherweise aus einer längeren, dritten solchen Gegenentladung entstanden ist[1]).

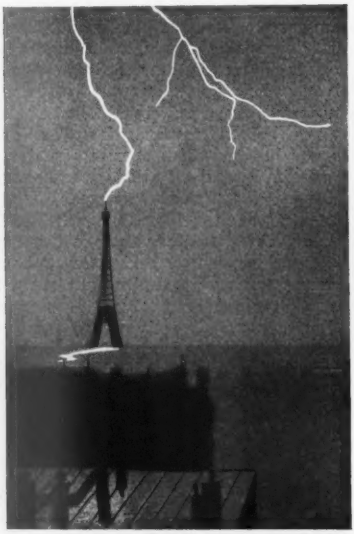


Fig. 11. Einschlag in den Eiffelturm (35).

Besonders interessante Beobachtungen über Einzelheiten der Blitzentwicklung verdanken wir B. F. J. SCHONLAND und seinen Mitarbeitern, die in gewitterreicher Gegend Südafrikas das WALTERsche Prinzip der Photoaufnahme mit bewegter Kamera in verbesserter Form wiederholt und schließlich sogar mit Feldmessungen kombiniert haben, z. B. (6, 23, 24, 25, 31, 36, 37). Die Aufnahmen, die sich nach einem Verfahren von BOYS (38) vor allem durch wesentliche Geschwindigkeitssteigerung der Drehbewegung von den früheren von WALTER unterschieden, bestätigten zunächst dessen bekannte Feststellungen, daß jeder Blitz sich in einzelnen Stufen — den Ruckstufen bei TOEPLERS Gleitentladungen — zur Erde vorarbeitet, und daß dem ersten Schlag noch eine ganze Reihe von weiteren folgen kann, die sich mitunter über einen Zeitraum von fast einer Sekunde verteilen. Darüber hinaus aber machten sie die Entdeckung, daß

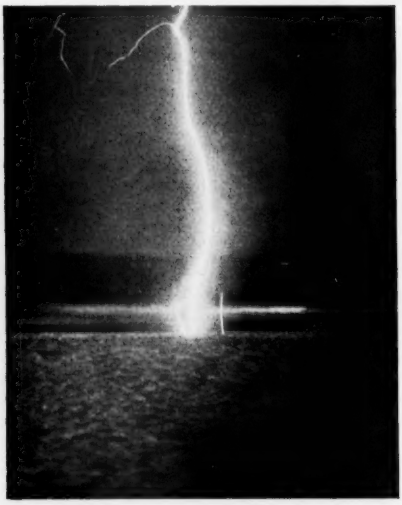


Fig. 12. Gegenentladungen von der Erde aus (5).

jeder einzelne dieser Blitzschläge in Wirklichkeit aus zwei verschiedenen Teilvorgängen besteht, nämlich dem schon bekannten Vorwachsprozeß von der Wolke zur Erde, der als „Leitentladung" bezeichnet wird, und einer anschließenden äußerst raschen und lichtstarken Erscheinung, der sog. „Hauptentladung", die einen umgekehrten Verlauf von unten nach oben nimmt.

Zunächst für die *Leitentladung* ergaben sich Längen der einzelnen Vorwachsstufen von 10 bis 200 m, durchschnittlich von 100 m, die jeweils mit einer Geschwindigkeit von etwa 50000 km/sec durchlaufen werden. Dabei leuchtet jedesmal nur das vom Kopf der Entladung neu durchlaufene Stück der Bahn hell auf, während die früher zurückgelegten Stufen nur schwach erneut nachglimmen. Zwischen den einzelnen Wachstumsprozessen erfolgen Ruhepausen von 30 bis 90 μsec, so daß nur eine mittlere Vorwachsgeschwindigkeit des Blitzkopfes von 150 km/sec zustande kommt.

[1]) Die Feinheiten kommen in der Abbildung der Originalabhandlung (5) deutlicher heraus.

Gelegentlich wird, wie wir dies aus der Analogie zu den Gleitbüscheln in D schon theoretisch erschlossen, ein Haltepunkt zum Ausgang für eine Verästelung des Blitzes, das ruckartige Vorwachsen setzt sich dann in gleicher Weise in die verschiedenen Zweige hinein fort. — Sobald der

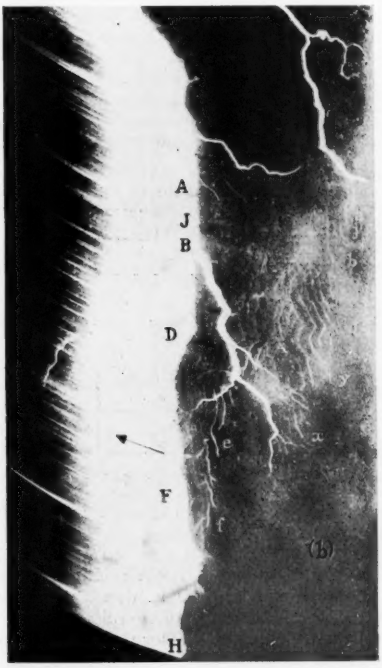


Fig. 13. Blitzaufnahme von SCHONLAND mit bewegter Kamera (31).

Kopf der Leitentladung die Erdoberfläche erreicht, setzt das zweite Phänomen, die *Hauptentladung*, ein. Eine außerordentlich helle Leuchterscheinung breitet sich stufenlos vom Erdboden durch den Blitzkanal nach oben hin aus. Ihre Vorwachsgeschwindigkeit liegt zwischen einem Zehntel und der Hälfte der Lichtgeschwindigkeit, also noch sehr viel höher als beim Vorprozeß. Überschreitet sie beim Aufstieg eine Verzweigungsstelle der vorausgegangenen Leitentladung, so ergießt sie sich auch in die Seitenzweige hinein, die sie ebenfalls hell aufleuchten läßt, während man im Hauptkanal oberhalb der Verzweigung eine merkliche Helligkeitsabnahme beobachtet. Bereits in 30 bis 90 μsec wird die untere Wolkengrenze erreicht, und damit verlöscht der Vorgang im allgemeinen, es sei denn, daß sich noch ein längerdauerndes Nachglimmen des Hauptkanals anschließt, wie es bereits in A erwähnt wurde.

In der Fig. 13 ist ein Ausschnitt aus einer derartigen Aufnahme von SCHONLAND wiedergegeben. Der Pfeil deutet die Kamerabewegung, genauer die Richtung der fortschreitenden Zeit an. Man erkennt deutlich, wie auf der rechten Bildseite die Leitentladung sowie einer ihrer Seitenzweige in der geschilderten Weise in einzelnen Ruckstufen immer weiter herunterwächst, bis nach Erreichung der Erde der sehr intensive Gegenschlag der Hauptentladung einsetzt, der hier dann nach links hin noch längere Zeit nachleuchtet.

Die Deutung der ganzen Erscheinung ist mit Hilfe der im vorangehenden entwickelten Vorstellungen nicht schwer. Während jeder Ruck-

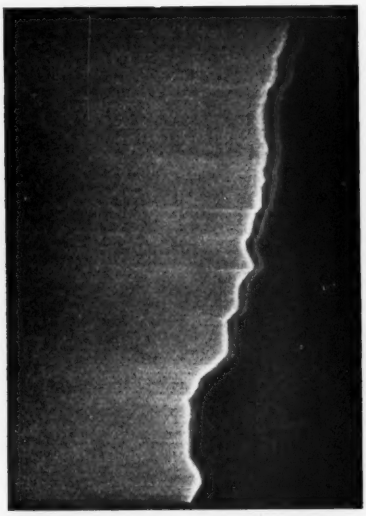


Fig. 14. Späterer Schlag eines mehrfachen Blitzes, Aufnahme mit bewegter Kamera (5).

stufe findet ein Ladungstransport durch den Blitzkanal, hauptsächlich in Form von Elektronen von oben nach unten statt. Innerhalb der Wolke können diese Elektronen wohl bald durch umliegende positive Ladungen neutralisiert werden. Im Raum zwischen Wolke und Erde aber besteht hierfür keine Möglichkeit, sondern der Blitzkanal wird zum stark mit Elektronen erfüllten Raumladungsschlauch. Sobald die Erdoberfläche erreicht ist, entleert sich dieser Schlauch, in Feldrichtung, also zur ableitenden Erde hin und mit großer Geschwindigkeit, da auch der vorgebildete Kanal jetzt zum guten Leiter geworden ist. Die Entleerung, d. h. eben die Hauptentladung, beginnt dabei verständlich unten und setzt sich, wie es die Leuchterscheinung anzeigt, von da nach oben und in die Seitenzweige hinein fort. — In diesem Bild werden auch die von SCHONLAND an den späteren Schlägen eines Gesamtblitzes beob-

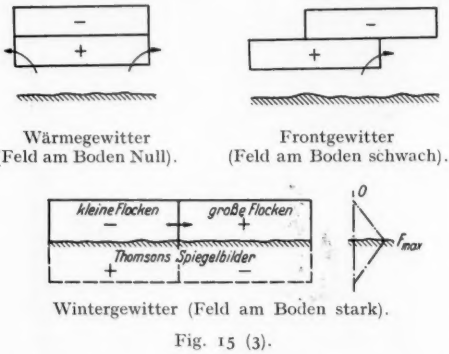
achteten Einzelheiten verständlich. Die Leitfähigkeit des einmal vorgebildeten Kanals bleibt noch längere Zeit so gut, daß die Leitentladung eines späteren Schlages meist ohne einzelne Ruckstufen und daher sehr rasch, in einem Zug von der Wolke bis zur Erde durchdringt. Dabei werden auch die Seitenzweige der ersten Entladung um so mehr vernachlässigt, je mehr Schläge bereits durch den Kanal geflossen sind. Die Fig. 14 zeigt die Aufnahme eines derartigen späteren Schlages. Die Zeit wächst hier horizontal von rechts nach links. Die Leitentladung läuft als schwächer leuchtende Linie von rechts oben ab herunter zur Erde, und im Augenblick der Berührung mit dem Erdboden setzt wieder der viel intensivere Hauptschlag ein, dessen Helligkeit nach oben hin abnimmt und der auch hier noch längere Zeit hindurch nachleuchtet. Verästelungen sind überhaupt nicht mehr vorhanden.

Von der schon erwähnten gleichzeitigen Untersuchung des elektrischen Erdfeldes, die SCHONLAND gekoppelt mit den Photoaufnahmen vornahm, sei nur kurz gesagt, daß auch sie mit wesentlich gesteigertem Auflösungsvermögen gegenüber älteren Anordnungen arbeitet. Dadurch wurde es möglich, sogar Einzelheiten des zeitlichen Feldverlaufs während der einzelnen Phasen eines Blitzschlags zu erkennen. Die Ruckstufen der Leitentladung verursachen beispielsweise entsprechende Schwankungen in dem Anstieg des elektrischen Feldes, den die Annäherung der Entladung an die Erde an sich hervorruft. Viel höher wächst aber die Feldstärke erst durch die Hauptentladung an, während der Blitzkanal die in ihm angesammelten Elektronenladungen auf die Erde ergießt. Gewisse Schwankungen des Feldverlaufes während dieser Periode bedürfen noch der Aufklärung. — Die früher in A angegebenen Blitzdauern dürften nach diesen Erfahrungen im wesentlichen als Dauern der stromstarken Hauptentladung anzusehen sein.

F. Verschiedene Gewitterformen.

Die bisherigen Betrachtungen waren zum großen Teil an ein sehr vereinfachtes Schema vom Wärmegewitter geknüpft, das allerdings oft die wesentlichen Züge der Erfahrung richtig wiederzugeben vermochte. Man darf sich aber nicht wundern, wenn in der Natur auch Vorgänge beobachtet werden, die nicht mit dem bisherigen Bild übereinstimmen. Hierhin gehören Blitze verschiedener Stromrichtung im gleichen Gewitter, Blitze zwischen den Wolken, größere Feldstärken und Feldstärkeschwankungen nach Größe und Richtung am Erdboden, auch wenn kein Blitz in der Nähe einschlägt, u. a. m. Alle diese Dinge deuten auf andere Ladungsanordnungen in der Gewitterwolke, als wir sie bisher annahmen, vielleicht auch auf rasche Umgruppierung der Ladungen während eines Gewitters.

Verwickeltere Verhältnisse der Ladungsanordnung und damit der Felder liefern bereits die beiden anderen Gewitterformen, die ebenfalls in unseren Gegenden auftreten, die Frontgewitter und die Wintergewitter, auch wenn man sie nur ganz schematisiert betrachtet. Die ersteren entstehen, wenn im Rahmen der großräumigen Zyklonentätigkeit kalte Luft auf breiter Front — oft von Hunderten von Kilometern Länge — sich keilförmig unter die beim bisherigen Schönwetter entstandene Warmluft vorschiebt, diese dabei hochhebt und wie eine Walze vor sich herrollt. Auch jetzt entsteht der für die Gewitterbildung wichtige Aufwind. Aber er strömt nicht so geregelt vertikal nach oben wie beim Wärmegewitter, sondern schiebt infolge der Walzenbewegung, wie in Fig. 15 angedeutet, die oberen Ladungen gegen die unteren



Wärmegewitter (Feld am Boden Null). Frontgewitter (Feld am Boden schwach).

Wintergewitter (Feld am Boden stark).

Fig. 15 (3).

voraus und wirbelt wohl auch alles mehr durcheinander. Jetzt können, da die Feldlinien zwischen den Ladungen viel mehr in den Raum hinausgreifen, am Boden auch ohne Blitzschläge schon erheblichere elektrische Felder verspürt werden. — Bei den seltenen Wintergewittern treibt horizontaler Wind in geringer Höhe über dem Erdboden meist die positiven Ladungen an großflockigem Schnee vor den negativen her. Da die horizontale Ausdehnung des Vorganges groß gegen die vertikale ist, bilden sich hier in erster Linie elektrische Felder zwischen den getrennten Ladungen und ihren „Spiegelbildern" aus, die durch Influenzladungen auf der Erde verursacht sind. Der Feldstärkeverlauf ist in Fig. 15 rechts neben das Gewitterschema gezeichnet. Jetzt liegt im Gegensatz zu den früheren Typen die Erdoberfläche im Gebiet größter Feldstärke, die Blitzentwicklung muß unmittelbar an ihr einsetzen. Tatsächlich beobachtet man fast nur die Erde treffende, nicht nach anderen Wolken zielende, kurze Blitze und große Werte der Feldstärke.

Stellenweise Durchmischung der entgegengesetzten Ladungen und damit Zerstörung unserer einfachen Schemata der Gewitter infolge unregelmäßiger Windbewegungen sind nicht nur beim Frontgewitter, sondern ebenso beim Wärmegewitter zu erwarten, wenn seine Entwicklung weiter vorgeschritten ist, besonders auch, wenn es durch

eine allgemeine Luftströmung von seinem Entstehungsort abgetrieben wird. Man hat oft versucht, durch Verfolgung der Feldverhältnisse am Boden in größerem Umkreis rings um ein Gewitter herum, z. B. (15, 17, 21, 23, 26, 27), sowie durch eingehendes Studium der Art der Verästelung von Blitzen, z. B. (1, 39, 40), über die Ladungsverteilung in den Wolken im einzelnen genaueren Aufschluß zu erhalten. Jedoch gelang es nicht, zu ganz widerspruchsfreien Vorstellungen zu kommen. Zum Teil liegt dies sicher daran, daß der im vorangehenden beschriebene Blitzmechanismus vielfach noch nicht richtig verstanden wird. — Der Blitz trägt nicht die Ladung der der Erde zunächstliegenden Wolkenschicht zum Boden! — Aber hiervon abgesehen ist es ein wertvoller Fortschritt, daß in den letzten Jahren SIMPSON darangegangen ist, durch Austastung der Wolkenladung an Ort nnd Stelle mit Versuchsballons unmittelbare Klarheit zu schaffen (26, 27).

Das Verfahren beruht einfach darauf, daß in größeren Feldern ein gestreckter Draht infolge von Spitzenentladungen an seinen Enden von einem Strom durchflossen wird. Der Draht, von einem Ballon hochgetragen, ist in der Mitte aufgeschnitten und durch Polreagenzpapier überbrückt, das durch ein Uhrwerk fortbewegt wird und neben einer Höhenregistrierung die Stromrichtung durch Verfärbung angibt. Die Aufstiege, die stets auch von Feldmessungen am Erdboden begleitet waren, zeigten in der Tat recht mannigfaltige Ladungsverteilungen in verschiedenen Gewittern. Oft sind in ausgedehnten Wolkenmassen nicht nur zwei abgegrenzte Schichten positiver und negativer Ladung, wie in unserem einfachen Schema, zu erkennen, sondern häufig wechseln — vielleicht durch die Turbulenz der Luftbewegung verursacht — Gebiete mit entgegengesetztem Ladungsvorzeichen bunt miteinander ab. Sieht man von solchen Fällen ab, so läßt sich aber schon ein meist gültiges Normalschema angeben, das in Fig. 16 skizziert ist. Es handelt sich um ein Gewitter in vorgeschrittenem Entwicklungsstadium mit ausgedehnter Wolkenmasse. Tatsächlich findet sich in seinem Kern, wo der Aufwind am intensivsten wirkt, derjenige Mechanismus wieder, den wir auf Grund aller indirekten Erfahrungen als den gewöhnlichen erkannt haben: Einem Gebiet sehr großer positiver Ladungsdichte unten steht darüber ein großer Bereich mit negativer Ladung gegenüber. Die Grenzfläche zwischen beiden dürfte der Ausgangsort für den wesentlichen Teil der Blitze sein. Über dieses aktive Gebiet hinaus aber ist noch ein großer Teil, vor allem der nachfolgenden Wolkenmassen rechts, mit negativen Ladungen erfüllt. Außerdem findet sich in großer Höhe, bei allen Gewittern, gänzlich unerwartet, noch einmal eine recht bedeutende Schicht, die positive Ladungen führt! Es ist durchaus denkbar, daß die Grenzfläche zwischen diesen oberen positiven Ladungen und den daruntergelegenen negativen, besonders im nachfolgenden Teil des Gewitters, rechts in Fig. 16, die Quelle für weitere Blitze von umgekehrter Stromrichtung wie im Gewitterkern darstellt.

Allerdings ist vorläufig ziemlich unklar, wie diese oberste positive Schicht zustande kommt. WILSONS Mechanismus in der ursprünglichen Form (vgl. B) ist kaum dafür verantwortlich zu machen. Denn selbst wenn die richtige Feldrichtung für den Influenzvorgang vorhanden wäre, so hätte man in den beobachteten großen Höhen gar

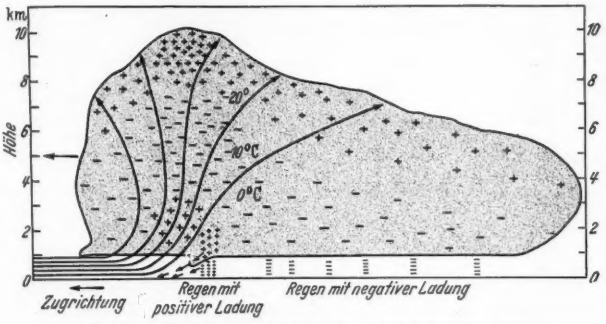


Fig. 16. Ladungsverteilung in Gewitterwolke und fallendem Regen (41).

nicht die notwendigen rasch fallenden Wassertropfen sondern Eiskriställchen, die fast schweben und schon dadurch für den bevorzugten Ioneneinfang eines Zeichens ungeeignet wären. SIMPSON vermutet aber, daß die positive Ladung in den obersten Schichten gerade mit der Bildung von Eiskristallen irgendwie zusammenhängt, möglicherweise soll sie durch Reibung der Kristalle an Luft entstehen, die selbst positiv aufsteigt, während die Kristalle negativ geladen sinken.

Um nur noch wenige offene Probleme anzuführen, so wäre es immer noch sehr wünschenswert, Strömungssinn und Art der Verästelung der Blitze zueinander in klare Beziehung zu setzen. — Sehr merkwürdig ist auch, daß MCEACHRON (42) an der Spitze des Empire State Building in New York Blitze beobachten konnte, die vollständig im Gegensatz zu allen sonstigen Erfahrungen in Ruckstufen vom Gebäude aus gegen die Wolken hin vorwuchsen, ohne daß übrigens eine weitere Hauptentladung folgte. Ob es sich dabei um Gewitter von der Art unserer Wintergewitter mit großem Feld an der Erdoberfläche handelte? Es wäre überhaupt interessant zu prüfen, ob, wie man nach unserer Vorstellung erwarten möchte, die Blitze der Wintergewitter wirklich vom Erdboden gegen den Himmel hin vorwachsen und ob auch hier etwa die sonst beobachtete Hauptentladung fehlt.

— So harren immer wieder zahlreiche Fragen der Beantwortung. Auch hier wird dem Forscher das Glück zu Teil, daß stets die Lösung eines Problems zu neuen Rätseln und damit zu neuen Aufgaben führt.

Literatur.

1. A. v. HIPPEL, Naturwiss. **22**, 701 (1934). — 2. M. TOEPLER, Verbands-Mitt. d. Dresdn. Elektrotechn. Vereins u. d. Dresdn. Bez.-Vereins dtsch. Ing., 22. Febr. 1917. — 3. M. TOEPLER, Mitt. d. Hermsdorf-Schomburg Isolatoren G. m. b. H., H. **25**, 743 (1926). — 4. H. SCHWENKHAGEN, Schr. naturforsch. Ges. Danzig XX, H. 2, 95 (1937). — 5. K. B. MCEACHRON, W. A. MCMORRIS, Gen. Elektr. Rev. **39**, 487 (1936). — 6. B. F. J. SCHONLAND, Phil. Mag. **23**, 503 (1937). — 7. B. WALTER, Ann. Physik **10**, 393 (1903); **18**, 863 (1905); auch **22**, 421 (1935) — Jb. Hamb. wiss. Anst. **20** (1903); **27** (1909). — 8. Fig. 73 aus A. BOUWERS, Elektrische Höchstspannungen. Berlin: Springer 1939. — 9. H. BENNDORF u. V. F. HESS, Luftelektrizität in Müller-Pouillet, 11. Aufl. 5/1, 648f. — 10. H. GEITEL, Physik. Z. **17**, 455 (1916). — 11. P. LENARD, Wied. Ann. **46**, 584 (1892) — Meteor. Z. **21**, 249 (1904) — Ann. Physik **47**, 463 (1915); **65**, 629 (1921). — 12. G. C. SIMPSON, Phil. Trans. A. **209**, 379 (1909) — Physik. Z. **14**, 1057 (1913). — 13. G. C. SIMPSON, Proc. roy. Soc. Lond. A **114**, 376 (1927). — 14. H. GERDIEN, Physik. Z. **6**, 647 (1905). — 15. C. T. R. WILSON, Phil. Trans. A. **221**, 75 (1920) — J. Franklin Inst. **208**, 1 (1929). — 16. J. ELSTER u. H. GEITEL, Wied. Ann. **25**, 116 (1885). — 17. C. T. R. WILSON, Proc. roy. Soc. Lond. A **92**, 555 (1916). — 18. H. NORINDER, Tekn. Meddel. från Kungl. Vattenfallsstyrelsen. E. Nr 1. **1921**. — 19. A. MATTHIAS, Elektr.-Wirtsch. **25**, 297 (1926); **26**, 2 (1927). — 20. H. NORINDER, Electr. World **1924**, 223 — J. Franklin Inst. **220**, 69 (1935) — Proc. Phys. Soc. **49**, 364 (1937). — 21. E. V. APPLETON, WATT u. HERD, Proc. roy. Soc. Lond. A **111**, 615 (1926). — 22. E. V. APPLETON u. CHAPMAN, Proc. roy. Soc. Lond. A. **158**, 1 (1937). — 23. B. F. J. SCHONLAND u. CRAIB, Proc. roy. Soc. Lond. A **114**, 229 (1927). — 24. B. F. J. SCHONLAND, Proc. roy. Soc. Lond. A **118**, 233 (1928). — 25. B. F. J. SCHONLAND, HODGES u. COLLENS, Proc. roy. Soc. Lond. A **166**, 56 (1938). — 26. G. C. SIMPSON u. SCRASE, Proc. roy. Soc. Lond. A **161**, 309 (1937). — 27. G. C. SIMPSON u. ROBINSON, Proc. roy. Soc. Lond. A **177**, 281 (1940). — 28. W. W. LEWIS u. C. M. FOUST, Amer. Inst. electr. Engng. Trans. **49**, 917 (1930) u. a. — 29. M. TOEPLER, z. B. Ann. Physik **21**, 193 (1906); **53**, 217 (1917) — Physik. Z. **8**, 743 (1907); **21**, 706 (1920); **22**, 59 (1921) — Verh. dtsch. physik. Ges. **9**, 422 (1907) — Arch. Elektrotechn. **10**, 157—185 (1921) — Z. techn. Phys. **10**, 117 (1929). — 30. M. TOEPLER, Meteor. Z. **34**, 225 (1917). — 31. B. F. J. SCHONLAND, MALAN u. COLLENS, Proc. roy. Soc. Lond. A **152**, 595 (1935). — 32. H. RAETHER, Z. Physik **110**, 611 (1938); **112**, 464 (1939); **117**, 375, 524 (1941). — 33. LOEB u. MEEK, J. appl. Physics **11**, 438, 459 (1940). — 34. S. SZPOR, Bull. schweiz. elektrotechn. Ver. **33**, 6 (1942). — 35. B. WALTER, Z. techn. Phys. **18**, 105 (1937). — 36. SCHONLAND u. COLLENS, Proc. roy. Soc. Lond. A **143**, 654 (1934). — 37. SCHONLAND, MALAN u. COLLENS, Proc. roy. Soc. Lond. A **168**, 455 (1938). — 38. C. V. BOYS, Nature (Lond.) **118**, 749 (1926). — 39. G. C. SIMPSON, Proc. roy. Soc. Lond. A **111**, 256 (1926). — 40. J. C. JENSEN, J. Franklin Inst. **216**, 707 (1933). — 41. Fig. 5 aus Naturwiss. **27**, 775 (1939). — 42. K. B. MCEACHRON, Electr. Engng. **1938**, 493 — J. Franklin Inst. **149**, 227 (1939) — Electr. Engng. Trans. **1941**, 885. — 43. FRANZ WOLF, Jahrb. f. drahtl. Telegr. u. Teleph. **19**, 289 (1922). — 44. H. ISRAEL u. K. WURM, Naturwiss. **29**, 778 (1941).

Über die Identifizierung einiger Uranspaltprodukte mit entsprechenden durch (nα)- und (np)-Prozesse erhaltenen Isotopen[1].

Von H. J. BORN und W. SEELMANN-EGGEBERT, Berlin-Dahlem.

In einer vor kurzem erschienenen Arbeit[2] haben wir einige neue Krypton- und Xenonisotope beschrieben, die sich bei der Uranspaltung als Folgekörper von vermutlich primär entstehenden Brom- und Jodisotopen bilden. Es handelt sich um ein 75-Min.- und ein 4,6-Std.-Krypton sowie ein 3,8-Min.-Xenon. Zur Bestimmung der Masse dieser neuen Isotope haben wir versucht, sie mit Isotopen ähnlicher Halbwertszeit, die durch andere Prozesse erhalten werden, zu identifizieren. Solche Isotope sind gelegentlich in der Literatur genannt worden. So beschreibt SNELL[3] zwei Kryptonisotope von 75 Min. und 4,5 Std. Halbwertszeit, die er durch (dp)-Prozesse aus Krypton erhielt und denen er die Massen 85 und 87 zuschreibt, ohne aber eine genaue Zuordnung geben zu können. CLANCY[4] fand bei Bestrahlung von Krypton mit Deuteronen eine Aktivität, die aus drei Komponenten zusammengesetzt war. Er gab folgende Halbwertszeiten an: 102 Min., 4 und 34 Std. Seiner Ansicht nach könnte es sich bei der 102-Min.-Aktivität um das von LANGSDORF und SEGRÉ[1]) gefundene Isomere des Kryptons 83 handeln. Da er bei α-Bestrahlung von Selen nur die 114-Min.-Aktivität des $^{83}Kr^*$ und die schwache 35-Std.-Aktivität des ^{81}Kr findet, schreibt er die 4-Std.-Aktivität, die er bei Deuteronenbestrahlung von Krypton erhält, dem ^{87}Kr zu, weil ein Krypton der Masse 85 seiner Meinung nach auch durch α-Bestrahlung von Selen entstehen sollte. Endlich geben KING und Mitarbeiter[2]) in einer kurzen Notiz an, bei der Beschießung von Selen mit α-Strahlen eine Aktivität von 1—2 Min., von 2 Std. und 6 Std. erhalten zu haben, ohne allerdings diese Körper als Kryptonisotope zu bestimmen. Aus diesen Angaben ist eine eindeutige Massenzuordnung der aktiven Kryptonisotope und also auch etwa mit ihnen identischer Kryptonisotope aus den Uranspaltprozessen noch keineswegs möglich.

Um weitere Anhaltspunkte zu erhalten, haben wir daher durch Bestrahlung von Rubidium- und Strontiumsalzen mit unverlangsamten Li/D-Neutronen zunächst die noch nicht untersuchten (np)- und (nα)-Prozesse geprüft, die zu Kryptonisotopen führen konnten. (nγ)-Prozesse kamen für die Untersuchung

[1]) Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie und der Radiologischen Abteilung der Auergesellschaft.

[2]) W. SEELMANN-EGGEBERT u. H. J. BORN, Naturwiss. 31, 59 (1943).

[3]) A. H. SNELL, Physic. Rev. **52**, 1007 (1937).

[4]) E. P. CLANCY, Physic. Rev. **58**, 88 (1940).

[1]) A. LANGSDORF jun. u. E. SEGRÉ, Physic. Rev. **57**, 105 (1940).

[2]) L. D. P. KING, W. J. HENDERSON u. J. R. RISSER, Physic. Rev. **55**, 1118 (1939).

nicht in Betracht, da die uns zur Verfügung stehende Neutronenquelle, die von Herrn Dr. RAMM betriebene Hochspannungsanlage des Kaiser Wilhelm-Instituts für Physik, trotz ihrer großen Neutronenintensität für die genügende Aktivierung so kleiner Mengen, wie sie bei Bestrahlungen von Gasen in Frage kommen, noch nicht ausreichte.

Für die Messung der zu untersuchenden radioaktiven Gase verwendeten wir eine Anordnung, die bereits früher eingehend beschrieben worden ist[1]). Nur solche Rubidium- und Strontiumsalze wurden für die Bestrahlung verwendet, die einerseits gut wasserlöslich sind, andererseits einen nicht zu niedrigen Schmelzpunkt haben. Bei der Bestrahlung dicht am Auffänger des Neutronengenerators muß nämlich stets mit einer beträchtlichen Erwärmung des Präparats gerechnet werden. Substanzen mit niedrigem Schmelzpunkt können dabei unter Umständen schon erheblich zu „emanieren" beginnen, d. h. einen großen Teil der gebildeten radioaktiven Gase abgeben. Wir wählten für die Bestrahlung Strontiumchlorid und Rubidiumnitrat.

Je 20—30 g des betreffenden Salzes wurden einige Stunden lang mit unverlangsamten Li/D-Neutronen bestrahlt. Das Salz wurde dann unter Verschluß in heißem Wasser gelöst, das Krypton mit Wasserstoff als Träger aus der Lösung ausgespült, an gekühlter Kohle gesammelt und wie früher beschrieben[1]), in die Meßkammer gebracht. Das Ergebnis der Versuche mit Strontium zeigt Fig. 1, Kurve A. Hier handelt es sich offenbar um einen einheitlichen Körper mit einer Halbwertszeit von 4,6 Std. Bei der Bestrahlung von Strontium mit schnellen Neutronen — durch (nα)-Prozeß — entsteht also ein Kryptonisotop von 4,6 Std. Halbwertszeit.

Die Kurve B der Fig. 1 zeigt den Aktivitätsabfall der aus Rubidium durch (np)-Prozeß gebildeten Kryptonisotope. Nach einem schnelleren Abfall biegt die Kurve in einen über längeren Zeitraum geradlinig verlaufenden Abfall von 4,6 Std. um. Nach Abzug des zurückextrapolierten 4,6-Std.-Abfalls von der gemessenen Kurve ergibt sich Kurve C mit einer Halbwertszeit von 75 Min. Bei der Bestrahlung von Rubidium werden also zwei Kryptonisotope erhalten, von denen das eine eine Halbwertszeit von 75 Min., das andere eine solche von 4,6 Std. besitzt.

Um die durch die Übereinstimmung der Halbwertszeiten wahrscheinlich gemachte Identität der 4,6-Std.-Kryptonisotope aus Strontium, Rubidium und Uran sowie der 75-Min.-Kryptonisotope aus Rubidium und Uran zu sichern, haben wir die Absorption der β-Strahlen der betreffenden Körper untersucht und verglichen. Wir bedienten uns dabei einer bereits früher beschriebenen Meßanordnung[2]), bei der eine ringförmige, dünnwandige, das Gas enthaltende Kammer um ein vertikal stehendes Zählrohr gesetzt ist, so daß zwischen Kammer und Zählrohr Absorptionsfolien eingestellt werden können. Die Ergebnisse der Messungen sind in Fig. 2 und 3 eingetragen. In

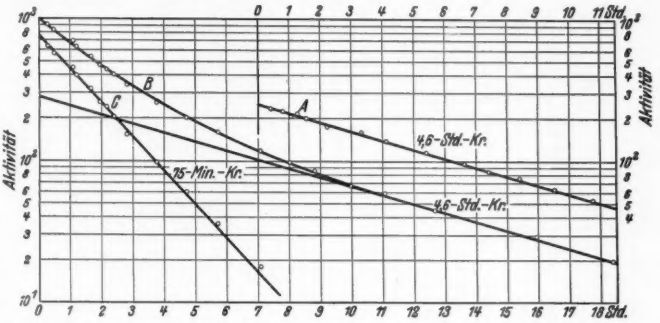


Fig. 1. Die aktiven Kryptonisotope aus Strontium (nα) und Rubidium (np). Kurve A: Das 4,6-Std.-Krypton aus dem Strontium. Kurve B: Die Kryptonisotope aus dem Rubidium. Kurve C: Kurve B abzgl. des 4,6-Std.-Kryptons: Das 75-Min.-Krypton.

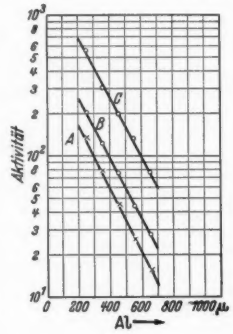


Fig. 2.

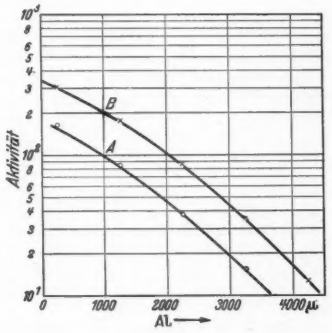


Fig. 3.

Fig. 2. Absorptionskurven des 4,6-Std.-Kryptons. Kurve A: Krypton aus dem 3-Min.-Brom (Uran). Kurve B: Krypton aus dem Rubidium. Kurve C: Krypton aus dem Strontium.

Fig. 3. Absorptionskurven des 75-Min.-Kryptons. Kurve A: Krypton aus dem 50-Sek.-Brom (Uran). Kurve B: Krypton aus dem Rubidium.

Fig. 2 stehen die Absorptionskurven für das 4,6-Std.-Krypton, und zwar bezeichnet A, B und C die Herkunft des Kryptons aus Uran, aus Rubidium und aus Strontium. Die Kurven B und C zeigen eine ähnlich weiche Strahlung wie das Kryton aus Uran (Kurve A). Wir schätzen die Maximalenergie auf etwa 0,8 MeV, also gleich der früher schon für das bei der Spaltung entstehende Krypton angegebenen. Damit ist die Identität der drei Isotope erwiesen.

Zu einem entsprechenden Ergebnis führten die Messungen der 75-Min.-Aktivitäten, deren Strahlenabsorption in Fig. 3 wiedergegeben ist. Der 75-Min.-

[1]) W. SEELMANN-EGGEBERT, Naturwiss. **28**, 451 (1940).

[2]) W. SEELMANN-EGGEBERT u. H. J. BORN, l. c.

Körper tritt bei unseren Versuchen stets zusammen mit dem 4,6-Std.-Körper auf. Wegen der Weichheit der Strahlung dieses längerlebigen Isotops war aber dennoch eine direkte Messung der Härte der offenbar durchdringenden Strahlung des kürzerlebigen Isotops möglich. Zu diesem Zweck wurde, wie in der vorstehenden Arbeit[1]) erwähnt wird, zunächst die Aktivität des Gemisches ohne zusätzliche Folie bestimmt, von der dann die zurückextrapolierte Kurve des reinen 4,6-Std.-Kryptons abgezogen wurde. Dies geschah, um die Aktivität des reinen 75-Min.-Kryptons ohne Folie zu bestimmen. Dann wurde eine Folie von

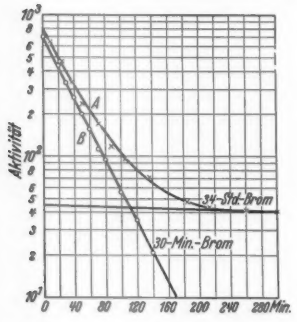


Fig. 4.

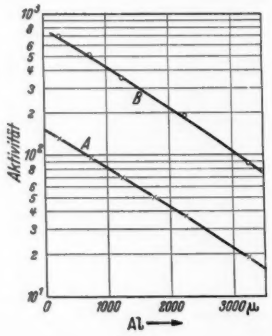


Fig. 5.

Fig. 4. Die Bromisotope aus dem Rubidium (nα). Kurve A: Die gemessenen Werte. Kurve B: Kurve A abzgl. des 34-Std.-Broms: Das 30-Min.-Brom.

Fig. 5. Absorptionskurven des 30-Min.-Broms aus Uran und aus Rubidium. Kurve A: Brom aus Uran. Kurve B: Brom aus dem Rubidium.

1000 μ eingestellt, die die 4,6-Std.-Aktivität völlig unterdrückt, und nun mit weiteren Folien die Schwächung der 75-Min.-Strahlung gemessen. Sowohl das aus dem Rubidium entstandene wie auch das bei der Spaltung entstehende Krypton haben eine sehr harte β-Strahlung, und wir schätzen die Maximalenergie der Strahlung auf Grund der Absorptionskurven auf über 3 MeV. Wir schließen aus der Absorptionskurve auf die Maximalenergie auf Grund von Eichkurven, die wir mit unserer Meßanordnung mit Körpern bekannter Energien aufgenommen haben. Genaue Angaben über dieses Verfahren sollen an anderer Stelle gemacht werden. Auch die kurzen Kryptonisotope sind also sicher untereinander identisch. Mit der von uns gefundenen Härte stehen die Angaben von SNELL[2]) in guter Übereinstimmung, der das 75-Min.-Isotop viel härter als sein 4,5-Std.-Isotop fand.

Daraus ergeben sich nun bestimmte Folgerungen für die Massenzuordnung der neuen Isotope. Bei Bestrahlung von Strontium mit schnellen Neutronen könnten die Kryptonisotope der Massenzahlen 81, 83, 84 und 85 entstehen. Wegen der geringen Häufigkeit des ^{84}Sr werden aber nur die Kryptonisotope 83, 84 und 85 zu erwarten sein. Von diesen sind 83 und 84 stabil, so daß dem 4,6-Std.-Krypton offenbar die Masse 85 zuzuordnen ist. Der Bildung dieses Isotops aus Rubidium würde dann der Prozeß ^{85}Rb (np) ^{85}Kr entsprechen.

[1]) W. SEELMANN-EGGEBERT u. H. J. BORN, l. c.
[2]) A. H. SNELL, l. c.

Gegen die genannte Auffassung sprechen die Ergebnisse von CLANCY[1]). Dieser hat einerseits aus Strontium und Rubidium bei Bestrahlung mit schnellen Neutronen keinerlei Kryptonisotope erhalten, was im Hinblick auf unsere Ergebnisse unverständlich ist. Leider kann dieser Befund nicht genauer diskutiert werden, da CLANCY keine näheren Angaben über seine Versuche macht. CLANCY hat zweitens aus der Tatsache, daß er durch (αn)-Prozeß aus Selen kein 4-Std.-Krypton erhielt, geschlossen, daß sein 4-Std.-Krypton nicht die Masse 85 haben kann, da dieses sich aus ^{82}Se hätte bilden können, und er hat seinem Krypton daher die Masse 87 zugeschrieben. Dieser Schluß ist aber gewiß nicht zwingend, da CLANCY ja auch aus anderen Selenisotopen von ähnlicher Häufigkeit wie der des ^{82}Se, z. B. aus ^{76}Se, kein aktives Kryptonisotop erhalten hat. CLANCYS Ergebnis schließt also unsere begründete Annahme nicht aus.

Widerspruchslos läßt sich unter diesen Voraussetzungen das 75-Min.-Krypton der Masse 87 zuordnen. Da das schwerste stabile Strontiumisotop die Masse 88 hat, ist ein Krypton der Masse 87 durch (nα)-Prozeß nicht möglich. Für die Entstehung aus Rubidium aber bleibt nur die Masse 85 übrig. Diese Deutung steht im Einklang mit dem oben erwähnten Vorschlag von SNELL[2]), der auf Grund seiner Untersuchung der (dp)-Prozesse den 75-Min.- und 4,6-Std.-Kryptonisotopen die Massen 85 *oder* 87 zuordnete.

Auf Grund dieser Ergebnisse können die folgenden beiden Reihen in der Brom-Krypton-Gruppe festgelegt werden.

$$^{85}\mathrm{Br} \xrightarrow[\beta]{3\ \mathrm{Min.}} {}^{85}\mathrm{Kr} \xrightarrow[\beta]{4{,}6\ \mathrm{Std.}} {}^{85}\mathrm{Rb\ stab.}$$

$$^{87}\mathrm{Br} \xrightarrow[\beta]{50\ \mathrm{Sek.}} {}^{87}\mathrm{Kr} \xrightarrow[\beta]{75\ \mathrm{Min.}} {}^{87}\mathrm{Rb} \xrightarrow[\beta]{6{,}3 \cdot 10^{10}\ \mathrm{Jahre}} {}^{87}\mathrm{Sr\ stab.}$$

Eine weitere Massenbestimmung gelang bei dem von DODSON und FOWLER[3]) und HAHN und STRASSMANN[4]) als Uranspaltprodukt gefundenen Brom von 30 Min. Halbwertszeit. Aus der angesäuerten Lösung des mit schnellen Neutronen bestrahlten Rubidiums destillierten wir nach Zusatz von Kaliumbromid und Kaliumbromat Brom in eine Vorlage mit wässeriger Natriumbisulfitlösung. Aus dieser Lösung wurde das Brom als Silberbromid gefällt. Die Abfallskurve dieses Präparats zeigt zwei Körper von 30 Min. und 34 Std. Halbwertszeit (Fig. 4 Kurve A und B). Da der 34-Std.-Körper auf Grund zahlreicher anderer Reaktionen die Masse 82 haben muß[5]), bleibt für die Entstehung des 30-Min.-Isotops nur die Reaktion ^{87}Rb (nα) ^{84}Br, also die Masse 84 übrig. Bereits SNELL[2]) fand bei der Bestrahlung von Rubidium mit Li/D-Neutronen eine 30-Min.-Aktivität beim Brom, die er allerdings einem evtl. aus Kaliumverunreinigungen entstandenen Chlor zuordnete. Der Masse 84 ordnete er keine bestimmte Brom-Aktivität zu.

[1]) E. P. CLANCY, l. c.
[2]) A. H. SNELL, l. c.
[3]) R. W. DODSON u. R. W. FOWLER, Physic. Rev. **55**, 880 (1939).
[4]) O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. **27**, 529 (1939).
[5]) Vgl. I. MATTAUCH u. S. FLÜGGE, Kernphysikalische Tabellen. Berlin: Springer 1942.

Die Identität der beiden 30-Min.-Bromisotope sicherten wir wiederum durch Absorptionsmessungen (Fig. 5). Kurve A gibt den Absorptionsverlauf des reinen 30-Min.-Broms aus dem Uran, Kurve B den des reinen 30-Min.-Broms aus dem Rubidium wieder. Die Kurven wurden durch Abzug der entsprechenden Werte für die längerlebigen Bromisotope von den gemessenen Absorptionskurven erhalten. Für beide Körper wurde eine Energie von etwa 4 MeV festgestellt, so daß es sich sicher um dasselbe Isotop handelt. Das aus diesem Brom entstandene Krypton ist stabil.

Eine Massenbestimmung des neu gefundenen 3,8-Min.-Xenons ist zunächst noch nicht gelungen. Wie uns aber Herr Prof. W. RIEZLER freundlicherweise mitteilte, hat er bei noch unveröffentlichten Untersuchungen beim Xenon durch (nγ)-Prozeß ein 3- bis 4-Minuten-Xenon erhalten, dem er die Masse 137 zuordnet. Da zu vermuten ist, daß es sich bei diesem Xenon und unserer 3,8-Min.-Aktivität um dasselbe Isotop handelt, würde dem 3,8-Min.-Xenon aus Uran die Masse 137 zukommen.

Zusammenfassung.

Durch (nα)-Prozeß werden aus Strontium ein 4,6-Std.-Krypton, durch (np)-Prozeß aus Rubidium ein 75-Min.- und ein 4,6-Std.-Krypton gefunden, die auf Grund von Absorptionsmessungen mit den entsprechenden Kryptonisotopen aus Uran identifiziert werden können. Das 30-Min.-Brom aus Uran ist identisch mit einem aus Rubidium durch (nα)-Prozeß erhaltenen Brom. Auf Grund dieser Ergebnisse können folgende Reihen aufgestellt werden:

$$^{84}\mathrm{Br} \xrightarrow[\beta]{30\ \mathrm{Min.}} {}^{84}\mathrm{Kr}\ \mathrm{stab.}$$

$$^{85}\mathrm{Br} \xrightarrow[\beta]{3\ \mathrm{Min.}} {}^{85}\mathrm{Kr} \xrightarrow[\beta]{4{,}6\ \mathrm{Std.}} {}^{85}\mathrm{Rb}\ \mathrm{stab.}$$

$$^{87}\mathrm{Br} \xrightarrow[\beta]{50\ \mathrm{Sek.}} {}^{87}\mathrm{Kr} \xrightarrow[\beta]{75\ \mathrm{Min.}} {}^{87}\mathrm{Rb} \xrightarrow[\beta]{6{,}3 \cdot 10^{10}\ \mathrm{Jahre}} {}^{87}\mathrm{Sr}\ \mathrm{stab.}$$

Herrn Prof. HAHN und Herrn Dr. STRASSMANN danken wir wiederum herzlich für ihre fördernde Anteilnahme.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Beitrag zum Pyrolusitproblem.

Auf Grund *röntgenographischer* Untersuchungen nach dem Pulververfahren ist mehrfach ausgesprochen worden, daß *Polianit* (MnO_2) und *Pyrolusit* (MnO_2) *identisch* sind und ein Gitter vom Rutiltypus besitzen [A. ST. JOHN, Physic. Rev. **21**, 389 (1921). — W. V. SMITHERINGALE, Econ. Geol. **24**, 481 (1929). — G. VAUX u. H. BENNETT, Min. Mag. **24**, 521 (1937)].

Nach dem *erzmikroskopischen* Verhalten wie nach der *äußeren Formentwicklung* gibt es dagegen *2 verschiedene Modifikationen von MnO_2*, den seltenen *tetragonalen Polianit* und den, meist in strahligen Aggregaten auftretenden, *rhombischen Pyrolusit* (SCHNEIDERHÖHN-RAMDOHR, Lehrbuch der Erzmikroskopie 1931. — P. RAMDOHR, Lehrbuch der Mineralogie 1942).

Eine Erklärung dieses offenbaren Widerspruches erscheint dringend notwendig; zur Lösung ist ein kombiniertes röntgenographisches und erzmikroskopisches Arbeitsverfahren zu verwenden.

Im Zusammenhang mit Untersuchungen derzeit wichtiger Manganerze, die unter Leitung von Prof. RAMDOHR ausgeführt werden, hatte ich u. a. Standardaufnahmen von Polianit und Pyrolusit verschiedener Fundorte anzufertigen. Die Aufnahmen, selbst von makroskopisch und mikroskopisch ganz verschiedenem Material, waren überraschenderweise nahezu identisch; der einzige Unterschied lag darin, daß bei Pyrolusit unter gleichen Aufnahmebedingungen die Linien durchwegs etwas breiter sind als bei Polianit. Ich hatte zunächst den Gedanken, daß es sich bei Pyrolusit vielleicht um eine Umwandlung während des Pulverisierens in den tetragonalen Polianit handeln könnte und machte deshalb unter allen erdenklichen Vorsichtsmaßnahmen erneut Pulverdiagramme von Pyrolusit. Aber auch diese Diagramme unterschieden sich praktisch nicht von den Polianitdiagrammen. Es war nun daran zu denken, daß ausnahmsweise zweierlei Modifikationen der gleichen chemischen Verbindung gleiche Pulverdiagramme ergeben könnten, daß vielleicht der gleiche Hauptgitterträger und in den Gitterkonstanten lediglich eine Verdoppelung nach der einen oder anderen Richtung vorliegen würde. Ich stellte deshalb Einkristallaufnahmen her und verwendete dazu einen strahligen, im *optischen* und *morphologischen Aussehen typisch rhombischen*, an den Fingern abfärbenden *„Pyrolusit“* (vom Mittelberg bei Elgersburg in Thüringen). Die Orientierung wählte ich derart, daß die Normale der Spaltebene zu *b* die Nadelachse zu *c* wurde. Die in Fig. 1 und 2 wiedergegebenen erzmikroskopischen Bilder des für die Schwenkaufnahmen verwendeten Materials zeigen deutlich *nicht*tetragonales Verhalten: Spaltbarkeit nach *einer* Ebene der c-Zone und optische Anisotropie der Basisschnitte. Nach zahllosen — wegen der enormen Brüchigkeit des Materials — mißlungenen Versuchen gelang es schließlich, ein Nädelchen von etwa 0,1 · 0,4 · 2,5 mm Größe zu präparieren und damit Schwenkaufnahmen um die drei kristallographischen Achsen herzustellen. Es ergab sich $a_0 = 4{,}38$ Å, $b_0 = 4{,}38$ Å, $c_0 = 2{,}86$ Å, also ganz das *röntgenographische Verhalten von typisch tetragonalem „Polianit“*! (VAUX und BENNETT, die

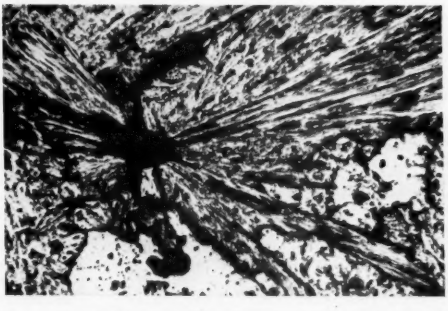


Fig. 1. Pyrolusit von Elgersburg; strahliges Aggregat. Erzmikroskop. Vergr. 15mal.

ein Drehdiagramm um die Nadelachse hergestellt hatten, waren für diese Richtung ebenfalls auf den Wert 2,86 Å gekommen.) Damit ist der Schlüssel zur Lösung des Problems gegeben.

„Pyrolusit“ tritt, wie schon sehr lange angenommen und auch von VAUX und BENNETT besonders betont, meist oder immer in Pseudomorphosen nach anderen Mineralien auf, vorzugsweise nach dem praktisch rhombischen (streng genommen monoklinen) Manganit (MnOOH). Manganit besitzt eine deutliche Spaltbarkeit nach (010) und eine undeutliche Spaltbarkeit nach (110); der Winkel (110):(1$\bar{1}$0) ist 80° 20′. *Es muß derart sein, daß der untersuchte „Pyrolusit“ wegen der Ähnlichkeit im morphologischen Aussehen ehemals Manganit war, daß aber jetzt faktisch tetragonaler „Polianit“ vorliegt, der in zahllosen Kriställchen von submikroskopischen Dimensionen zum ehemaligen Manganit streng kristallographisch orientiert ist.* Aus der Linienverbreiterung auf

den Pulverdiagrammen — einige Linien unter hohem Glanzwinkel verschwinden ganz — berechnet sich die Kantenlänge der tetragonalen Kriställchen größenordnungsmäßig auf 100 Elementarlängen. Die Orientierung der MnO_2-Kriställchen zum ehemaligen Manganit entspricht der folgenden Gegenüberstellung:

Manganit MnOOH		„Pyrolusit" MnO_2
$a_0 = 8{,}86$ Å	$^1/_2\, a_0 = \mathbf{4{,}43}$ Å	$a_0 = \mathbf{4{,}38}$ Å
$b_0 = 5{,}24$ Å	$b_0 = \mathbf{5{,}24}$ Å	$b_0 = \mathbf{4{,}38}$ Å
$c_0 = 5{,}70$ Å	$^1/_2\, c_0 = \mathbf{2{,}85}$ Å	$c_0 = \mathbf{2{,}86}$ Å
$Z = 8$	$Z = 2$	$Z = 2$.

Man sieht, daß in den Richtungen *a* und *c* die vergleichbaren Dimensionen praktisch gleich sind, daß aber in der Richtung *b* eine Kontraktion von 5,24 Å auf 4,38 Å, d. h. um 16,5 %, stattgefunden hat. Die Frage, ob die Kontraktion zu Mikrokriställchen lediglich eine Bildung permanenter submikroskopischer Risse nach (010) zur Folge hat oder eine Kontraktion des Aggregatkristalles gegenüber dem primären Manganit und damit eine Veränderung der morphologischen Winkel veranlassen könnte, möchte ich mangels eigenen morphologischen Beobachtungsmaterials weitgehend unbeantwortet lassen; es scheint zwar, daß die im alten Schrifttum für Pyrolusit angegebenen Prismenwinkel (110):(1$\bar{1}$0) von 87°30′ bis 86°52′ (Koechlin), 86°20′ (Haidinger) und 84°30′ (Dana) gegenüber dem wohl primären Manganit mit 80°20′ eine Kontraktion in der *b*-Richtung und damit eine Annäherung des Winkels an 90° andeuten, doch spricht die röntgenographische Beobachtung am Material von Elgersburg eher dagegen, denn eine derartige Makrokontraktion würde wohl stärkere Desorientierungen der Mikrokriställchen veranlassen und zu ausgesprochenen Streureflexen in den Einkristalldiagrammen führen.

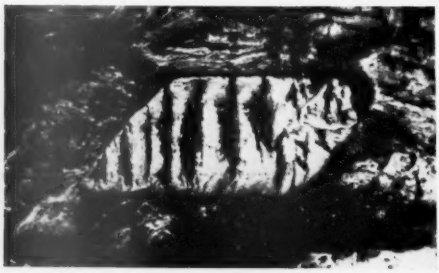


Fig. 2. Pyrolusit von Elgersburg; Einzelkriställchen, senkrecht zur Nadelrichtung getroffen, mit Spaltrissen nach (010). Erzmikroskop. Vergr. 500 mal. Ölimmersion.

Nach den Strukturbestimmungen für MnOOH und MnO_2 [M. J. Buerger, Z. Kristallograph. 95, 163 (1936) bzw. A. Ferrari, Rend. Accad. Linc. 3, 224 (1926)] liegt ein in beiden Fällen ähnlicher, aus O + OH bzw. nur O bestehender Hauptgitterträger vor mit Mn in deformiert oktaedrischen Koordinationszentren; die Radien von O und OH sind praktisch gleich groß, der Radius von Mn^{3+} wird mit 0,70 Å, von Mn^{4+} mit 0,52 Å angegeben. Die *Umwandlung von MnOOH zu MnO_2* muß eine *Reaktion im festen Zustand* gewesen sein, die topochemisch nach Gleichung I oder II verlaufen sein wird:

I. $2\,MnOOH + O = 2\,MnO_2 + H_2O$.

II. $Mn^{+++}O^{--}H^{+} = Mn^{++++}O_2^{--} + \ominus + H^{+} = MnO_2 + H$;
$2\,H + O = H_2O$.

Gleichung I erfordert das Einwandern von O_2 in das Kristallgebäude und das Herauswandern von H_2O, Gleichung II lediglich das Wandern von $H^+ + \ominus$ (bzw. H) nach den Grenzflächen der Kriställchen und dortiges Wegoxydieren zu H_2O. Betrachtet man die absoluten Atom- und Ionenradien der wandernden Komponenten (O = 0,7 Å, H_2O = 1,32 Å, H^+ = 0,0 Å), so kann man daraus schließen, daß der Reaktionsmechanismus wahrscheinlicher nach II als nach I verlaufen sein wird. Nach II wird initial das Wegoxydieren des Wasserstoffes an den Grenzflächen erfolgen und das dann auftretende H-Gefälle den oberflächenferneren Wasserstoff zur Wanderung an die Grenzflächen veranlassen, wo er gleichfalls oxydiert wird. Reaktion II erfordert keine auch nur vorübergehende Aufkeilung des primären Strukturgebäudes der Kriställchen, während nach Reaktion I eine solche erforderlich wäre.

Das oben festgestellte Verhalten im Einkristalldiagramm eines im alten Sinne typischen „Pyrolusites" und das Verhalten im Pulverdiagramm zahlreicher weiterer „Pyrolusite" berechtigen zu dem Schluß, daß es in der Natur *nur eine einzige Kristallart von der Zusammensetzung MnO_2* gibt; diese verdient nach dem Vorschlag von Vaux und Bennett aus Prioritätsgründen den Namen *Pyrolusit*, während der Name Polianit gestrichen werden kann. *Pyrolusit* kristallisiert *tetragonal* und tritt in den Vorkommen von Platten

Fig. 3. Pyrolusit von Elgersburg (vom gleichen Handstück wie Fig. 1 und 2); haselnußgroße Stücke wurden grob zerdrückt, durch hochfrequenten Schall in wässeriger Aufschlämmung zum Teil zerstäubt und die feinsten Fraktionen zur Aufnahme verwendet. Elektronenmikroskopische Vergr. 41000mal.

im Erzgebirge, Lostwithiel in Cornwall (nach P. Ramdohr) und der Stiepelmann-Grube in DSW.-Afrika [P. Ramdohr, N. Jb. Min. usw. A. B. 76, 1 (1940)] in makroskopisch deutlichen Einkristallen auf (nach Ramdohr zeigt das Material von Lostwithiel im Anschliff eine höhere Härte als 7 und visiergraupenartige Zwillinge wie Zinnstein). Neben dem primären Pyrolusit kommt in Platten, Lostwithiel und fast 100proz. auf allen anderen Lagerstätten Pyrolusit in submikroskopischen Kriställchen pseudomorph nach anderen Mineralien, vorzugsweise nach Manganit vor. Die „rhombische Spaltbarkeit" der Pseudomorphosen nach Manganit ist als *Reliekteffekt* des ehemaligen Manganites aufzufassen. Die rhombische Optik muß gleichfalls vom Manganit „*ererbt*" sein und wohl in einer rhombisch bevorzugten Anordnung der submikroskopischen Pyrolusitkriställchen ihre tiefere Ursache haben. Schließlich ist auch die wechselnde Härte des Pyrolusites zu verstehen: Einkristalle haben nach alten Angaben die Härte 6, nach Ramdohr sogar höher als 7 (Quarz), die Aggregatkristalle (= Pseudomorphosen) gehen in ihrer Härte bis unter 2 herab, wohl nach dem Grad und Material ihrer jeweiligen Verkittung; Pseudomorphosen ohne Kittmaterial sind so „weich", daß sie, wie das Material von Elgersburg, an den Fingern abfärben. Die einzelnen Kriställchen bedingen in ihrer Vielzahl eine große innere Oberfläche und zeichnen sich (selbst das kompaktere Material) durch eine hohe chemische Aktivität und Adsorptionsfähigkeit aus. Eine dritte Art von Vorkommen des Pyrolusites ist dasjenige aus eingetrockneten und umgestandenen Gelen, wobei mitunter kaum zu entscheiden ist, ob primär zunächst Manganit oder sofort Pyrolusit entstanden ist.

Nachtrag. Eine elektronenmikroskopische Untersuchung führte zur Bestätigung der oben gewonnenen Vorstellungen

über Aussehen und Größe der Kristallite; sie ermöglichte vor allem die Feststellung, daß bei der Pseudomorphosierung des Manganites nicht Neubildungen feinster MnO_2-Nädelchen mit $\pm$ quadratischen Querschnitten auftreten, sondern flache linealförmige Teilchen, deren Gestalt durch die Spaltbarkeit des ehemaligen Manganites bedingt ist. Die kleinste Breite der Teilchen, die ich auf dem Leuchtschirm erkennen konnte, geht nicht oder kaum unter 200 Å herab; das linealförmige Teilchen in der Mitte von Fig. 3 hat eine Größe von etwa $5 \times 50 \times 1000$ Elementarperioden und entspricht somit in befriedigendem Maße den röntgenometrischen Befunden. (Die scheinbaren dünnen Fasern der Aufnahme sind bei einiger Übung ohne weiteres als Falten im Trägermaterial erkennbar!) Weitere Ausführungen über elektronenmikroskopische Befunde der Rutilgruppe erfolgen in einer mineralogischen Zeitschrift.

Ergebnis: Für MnO_2, das technisch wichtigste Manganerz, herrscht unbestritten eine tetragonale, mit Rutil isotype Kristallart, welche relativ selten in primär gebildeten Kristallen bis zu einigen Millimetern Größe auftritt (Platten, Lostwithiel, Stiepelmann-Grube). Die nach dem optischen und morphologischen Befund rhombisch erscheinende MnO_2-Form ist gleichfalls tetragonales, mit Rutil isotypes MnO_2, das jedoch in zahllosen submikroskopischen Kriställchen pseudomorph nach anderen Mineralien, vorzugsweise Manganit, auftritt. Die speziell rhombischen Eigenschaften dieser Pseudomorphosen sind als *Relikteffekt* („Gedächtnis der Materie" im Sinne von Hüttig bzw. „Erbeffekt" im Sinne von Hedvall) zu verstehen. Die nach Fundort und Genese so differenten physikalischen Eigenschaften des Pyrolusites lassen sich unter den gegebenen Gesichtspunkten gleichfalls zwanglos erklären.

Berlin, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität und Laboratorium für Übermikroskopie der Siemens u. Halske A.G., den 11. Dezember 1942.

H. Strunz.

Neue Kleinwinkelinterferenzen bei Myosin.

Bei Myosinfäden, die nach dem Verfahren von H. H. Weber[1]) hergestellt waren, fanden wir außer dem bekannten Röntgenbild drei schwache Äquatorreflexe bei kleinen Winkeln. Sie entsprechen ungefähr den Netzebenenabständen: 33, 42 und 66 Å. Am Meridian der Aufnahme konnten ähnliche Reflexe nicht festgestellt werden. Es handelt sich also offenbar vorwiegend um eine seitliche Regelmäßigkeit, bei der der Wert von 66 Å der Größenordnung der elektronenmikroskopisch festgestellten Myosinfadenbreite von 50—60 Å entspricht[2]).

Bei noch kleineren Winkeln tritt eine diffuse Kleinwinkelstreuung auf, die bei etwa 100 Å eine merkliche Intensität erreicht und nach innen zunimmt. Vielleicht entspricht sie der Dicke von Bündeln aus einigen der erwähnten Teilchen. Sie zeigt bei Quellung in organischen Lösungsmitteln im großen und ganzen eine gesetzmäßige Abnahme in der steigender Elektronendichte entsprechenden Reihe[3]): Hexan, Alkohol, CS_2, CCl_4, C_2H_5J. Wasser fällt bemerkenswerterweise aus der Reihe heraus; die Streuung ist hier viel zu schwach.

Bei mit Formaldehyd behandeltem und getrocknetem Muskel konnte bisher nur ein, und zwar merklich unschärferer und schlecht vermeßbarer Äquatorreflex bei etwa 37 Å festgestellt werden.

Versuche am lebenden Muskel sind im Gange.

Auf die Bedeutung unserer Feststellung für die Erkenntnis des Feinbaues von Myosin kann erst nach Erweiterung des Versuchsmaterials eingegangen werden.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie, den 17. Dezember 1942.

O. Kratky. A. Sekora. H. H. Weber.

[1]) Pflügers Arch. **253**, 205 (1934).

[2]) M. v. Ardenne u. H. H. Weber, Kolloid-Z. **97**, 322 (1941).

[3]) Bezüglich der Bedeutung dieser Feststellung siehe O. Kratky, A. Sekora u. R. Treer, Z. Elektrochem. **48**, 587 (1942).

Zur Legierungschemie der Übergangsmetalle.

Es ist schon früher[1]) darauf aufmerksam gemacht worden, daß in den Legierungen der Übergangsmetalle untereinander trotz der Erfüllung der geometrischen Bedingung[2]) für die Existenz von AB_2-Verbindungen (Lavesphasen) das Nickel und das Kupfer mit Titan intermetallische Verbindungen der Zusammensetzung AB_3 in elementähnlichen Strukturen bilden. Die homologen Elemente zu Nickel, Palladium und Platin, genügen zwar nicht mit Titan, jedoch mit Zirkonium dieser Existenzbedingung; aber mit beiden Metallen, Titan und Zirkonium, werden AB_3-Verbindungen gleichen oder verwandten Typs gebildet. Tabelle 1 gibt die Zusammenstellung der untersuchten Legierungen und der beobachteten Gittertypen mit den zugehörigen Gitterkonstanten wieder. Die Reihe der AB_3-Verbindungen wird in den entsprechenden Legierungsreihen

Tabelle 1. AB_3-Verbindungen der Übergangsmetalle.

Verbindung	Gitterkonstante a Å	Gitterkonstante c Å	Gittertyp
Pd_3Ti	5,475	8,958	Ni_3-Ti-Typ
Ni_3Ti[3]) . . .	5,096	8,304	Ni_3-Ti-Typ (hex. dichtest. K.P. mit Ordnungsstruktur)
Pt_3Ti	3,890	—	$AuCu_3$-Typ (kub. flächenzentr.)
Pt_3Zr	5,633	9,207	Ni_3Ti-Typ
Cu_3Ti			Cu_3Ti-Typ (deform. hex. dichteste Kugelpackung mit Ordnungsstruktur)
Au_3Ti			
Ni_3Nb			
Ni_3Ta[4]) . . .			

von Kupfer, Gold — hingegen nicht von Silber, das überhaupt keine intermediäre Phase mit Titan bildet — Zink und Gallium[5]) (bzw. Aluminium) fortgesetzt[1]). Beim Germanium (bzw. Silizium) wird diese Reihe wieder abgebrochen. Kobalt und Eisen usw. mit ihren Homologen bilden entsprechend den Größenunterschieden der A- und B-Atome mit Zirkonium Lavesphasen, jedoch legiert mit Titan erwartungsgemäß keine solchen mit Rhodium, Iridium, Ruthenium, Osmium usw. Verbindungen der AB_3-Zusammensetzung werden hingegen auch nicht beobachtet. Nickel mit seinen Homologen bildet also in diesen Legierungsreihen eine scharfe Grenze bezüglich der Stabilität von AB_3- und AB_2-Verbindungen.

Zur Deutung dieser Erscheinung möge man sich vergegenwärtigen, daß in der Gruppe des Nickels die zweitäußere Elektronenschale kurz vor ihrer vollständigen Auffüllung steht — im metallischen Zustande fehlen beim Nickel z. B. in der 3d-Schale 0,6 Elektronen, während in der nächsten Schale (4 s) bereits ebensoviel vorhanden sind[6]). — Durch die Wahl geeigneter Legierungspartner sollte es möglich sein, die Löcher in der zweitäußeren Schale zu füllen, so daß zunächst die Stabilität einer Lavesstruktur im betreffenden Legierungssystem herabgesetzt wird; denn es ist umgekehrt darauf hingewiesen worden, daß die Stabilität dieser Gittertypen unter anderem durch Bindungskräfte, die ihren Ursprung in den unaufgefüllten zweitäußeren

[1]) F. Laves u. H. J. Wallbaum, Naturwiss. **27**, 674 (1939).

[2]) A-Atomradius/B-Atomradius $\sim$ 1,22.

[3]) F. Laves u. H. J. Wallbaum, Z. Krist. A **101**, 78 (1939).

[4]) Ni_3Ta besitzt bei $\sim$1350° einen Umwandlungspunkt. Die unterhalb 1350° stabile Modifikation besitzt den Gittertyp des Cu_3-Ti (vgl. M. Hansen, Aufbau der Zweistofflegierungen, S. 957. Berlin: Springer 1936).

[5]) H. J. Wallbaum, Z. Metallkde **34**, 118 (1942).

[6]) Magnetische Messungen an Ni-{Cu, Zn, Al, Si} Legierungen weisen eindeutig darauf hin, daß die Lücken im 3d-Band des Nickels durch die Valenzelektronen der Legierungskomponenten vollständig aufgefüllt werden (vgl. z. B. C. Zwikker, Technische Physik der Werkstoffe. Berlin: Springer 1942, S. 204).

Elektronenschalen haben, erhöht wird[7]). Andererseits zeigen die AB_3-Verbindungen der Kupfer-, Gold-, Zink- (usw.) Titanlegierungen, daß die Elektronenkonfiguration des Kupfers usw. mit seiner abgeschlossenen zweitäußeren Elektronenschale besonders geeignet für die Bildung von AB_3-Verbindungen mit elementähnlichen Strukturen sein muß. Damit würde auch verständlich, daß die Elemente Iridium, Ruthenium, Rhodium, Osmium usw. mit Titan, obwohl die räumlichen Verhältnisse nicht anders liegen als in den Palladium- oder Goldlegierungen, keine AB_3-Verbindungen bilden.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei für die Bereitstellung von Mitteln gedankt.

Göttingen, Institut für Allgemeine Metallkunde, den 19. Dezember 1942. H. J. Wallbaum.

[7]) Z. B. F. Laves u. H. J. Wallbaum, Z. anorg. u. allg. Chem. **250**, 110 (1942).

Struktur und Farbreaktionen von Montmorilloniterden.

Wegen der Bedeutung des Montmorillonitgehaltes von Tonen und Erden für deren technisch, z. B. keramisch wichtige Eigenschaften und für den Wasserhaushalt von Böden besitzen Farbreaktionen zum Nachweis von Montmorillonit, insbesondere die von Hendricks und Alexander[1]) aufgefundene ***Bildung blauer Oxydationsprodukte des Benzidins*** beim Behandeln von Bentonit mit gesättigter wässeriger Benzidin- oder Benzidinchlorhydratlösung, erhebliches praktisches Interesse. Nachdem Gieseking[2]) die Aufnahme organischer Basen aus wässeriger Lösung durch Bentonit unter Kationenaustausch und Gitteraufweitung nachgewiesen und Broughton[3]) die unterschiedliche, in ihrer Reihenfolge vom Reaktionstypus abhängige katalytische Wirkung verschiedener Metallbentonite beschrieben hat, erscheint ferner die nähere Untersuchung der Benzidinreaktion, insbesondere der ***Gründe für ihr Versagen bei gewissen Bentoniten***, im Rahmen der gegenwärtigen Erkenntnisse über die Struktur und Reaktionsweise von Montmorillonit auch theoretisch wichtig. Nach Hendricks und Alexander[1]) setzt der deutlich positive Ausfall der Reaktion bei Bentoniten — Tone der Kaolinitgruppe färben sich nur schwach hellblau — die Gegenwart von katalytisch wirksamem Eisen im Verband der Montmorillonitstruktur voraus, während nach Endell, Zorn und U. Hofmann[4]) auch einige normal zusammengesetzte Bentonite die Reaktion nicht geben. Eigene Untersuchungen über die Farbreaktionen einer größeren Anzahl von Montmorilloniterden führten nun zu der überraschenden Beobachtung, daß verschiedene natürliche Erden, die sich im ursprünglichen Zustande mit gesättigter wässeriger Benzidinlösung auch nach längerem Stehen nicht oder nur ganz schwach hellblau anfärben, lediglich ***nach scharfer Trocknung im Vakuum bei gewöhnlicher Temperatur*** — auch nach Trocknen bei 100° unter gewöhnlichem Druck — mit Benzidin ***ausgesprochen positiv reagieren***. Dies ist um so auffallender, als sich die Benzidinreaktion ja in wässerigem Medium abspielt; die Adsorption der organischen Base durch den Bentonit und ihre katalytische Oxydation unter Bildung blauer, unlöslicher Adsorptionskomplexe erfolgt also offenbar rascher als die Einstellung des Quellungsgleichgewichtes. Aus unserer Beobachtung ergibt sich aber weiterhin die für die Erkenntnis der Struktur und Reaktionsfähigkeit von Bentoniten wichtige Folgerung, daß für die Aufnahme und Oxydation organischer Basen weder die röntgenographisch erfaßbare gittermäßige Ordnung noch die chemische Zusammensetzung allein ausschlaggebend sein können — denn beide erfahren durch das Trocknen bei niederer Temperatur keine Veränderung —, sondern daß für die Reaktionsfähigkeit dieser Bentonite noch andere, bisher nicht berücksichtigte Faktoren eine Rolle spielen müssen. Unsere Beobachtungen lassen sich wohl kaum anders deuten als damit, daß diese Erden Anteile enthalten, die beim Trocknen praktisch irreversible Veränderungen (bei Wiederaufnahme von Wasser durch mehrmonatelanges Stehen über 40proz. Schwefelsäure bleibt die Benzidinreaktion positiv) erleiden, durch die die Aufnahme der organischen Base oder die katalytische Aktivität der Grenzfläche begünstigt wird. Bei diesen Anteilen könnte es sich um gelartige Kieselsäure- oder Aluminiumoxydhydrate handeln; für die Möglichkeit des Vorkommens gelartiger Kieselsäure spricht z. B., daß in manchen Montmorilloniterden als Produkt der Alterung solcher Kieselsäurehydrate α-Cristobalit röntgenographisch nachgewiesen werden konnte. Nähere Aussagen über den Mechanismus des Einflusses der Trocknung auf die Benzidinreaktion von natürlichen Montmorilloniterden lassen sich erst bei genauerer Kenntnis des Umfanges der Aufnahme und Oxydation von Benzidin und ähnlichen Basen an verschiedenen Montmorilloniterden machen; diesbezügliche Untersuchungen sind im Gange. Auf die Gegenwart „amorpher" Anteile in einigen der untersuchten Tone und Erden weist auch die teilweise starke Schwärzung der diffusen Streustrahlung in den Röntgendiagrammen hin; doch wurde ihnen in letzter Zeit wenig Beachtung geschenkt, da ein direkter Nachweis bisher nicht erbracht werden konnte und ihre Menge als unbedeutend erachtet wurde[5]). Nach unseren Feststellungen können jedoch selbst geringe Mengen solcher irreversibler Gele für das Reaktionsvermögen von Erden gegenüber organischen Basen wesentlich sein.

Die Gegenwart wechselnder Mengen noch nicht näher zu definierender, amorpher Hydrate, dürfte auch für die ***Unterschiede der Entwässerungsgeschwindigkeit von Bentoniten*** im Temperaturbereich zwischen der Abgabe des durch innerkristalline Quellung eingelagerten Wassers und der beginnenden Abspaltung von OH-Gruppen aus den gittermäßig geordneten Bereichen der Montmorillonitstruktur verantwortlich zu machen sein.

Daß auch die ***Art der austauschfähigen Kationen*** im Bentonit die Intensität von Farbreaktionen, die auf der Aufnahme und Oxydation organischer Basen beruhen, beeinflußt, geht aus eigenen Untersuchungen an verschiedenen, aus dem gleichen Bentonit (Na-Bentonit von Geisenheim) durch Behandeln mit Salzen von Ca, Mg, La, Al, Fe, Cu, Co und Ni hergestellten Metallbentoniten hervor; doch sind die Unterschiede im allgemeinen geringfügig. Eine Sonderstellung nimmt jedoch neben den ***Fe-Bentoniten***, die sich je nach der Herstellungsart bei der Benzidinreaktion tiefblau oder auch ***dunkelgrün*** färben, der ***Kupferbentonit*** ein. Dieser reagiert nicht nur mit wässeriger Benzidinlösung besonders rasch und intensiv blau, sondern zeigt sogar bei der Anfärbung in einer Atmosphäre von Dimethylanilin und Benzaldehyd[6]) ein grundsätzlich abweichendes Verhalten, indem er die Bildung violetter Triphenylmethanfarbstoffe an Stelle der bei den übrigen Bentoniten (einschließlich der Fe-Bentonite) unter sonst gleichen Bedingungen entstehenden blaugrünen Adsorptionskomplexe veranlaßt. Das in die Montmorillonitstruktur eingeführte Kupfer vermag also offenbar in den Mechanismus der O_2-Übertragung derart einzugreifen, daß nicht nur der Umfang der katalytischen Oxydation, d. h. die Intensität der Färbung, sondern auch der Reaktionstypus geändert wird.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung, den 22. Dezember 1942.

Deodata Krüger. Fridel Oberlies.

[1]) St. B. Hendricks u. L. T. Alexander, J. soc. Agron. **1940**, 455.
[2]) J. E. Gieseking, Soil Sci. **47**, 1 (1939).
[3]) Broughton, J. physic. Chem. **44**, 181 (1940).
[4]) J. Endell, R. Zorn u. U. Hofmann, Angew. Chem. **54**, 371 (1941).
[5]) Vgl. C. W. Correns, Naturwiss. **24**, 122 (1936).
[6]) D. Krüger u. F. Oberlies, Ber. dtsch. chem. Ges. **74**, 1711 (1941).

Zur Existenz und Bedeutung der Zucker-Triose-Gleichgewichte.

Vor etwa einem Jahr wurde mitgeteilt, daß sich Methylglyoxal auch in neutralem und saurem Medium aus Zucker abspalten läßt[1]).

Die damals ausgesprochene Vorstellung, daß dieser Befund darauf zurückzuführen sei, daß in Zuckerlösungen ein Gleichgewicht zwischen dem Zucker und geringen Mengen Methylglyoxal besteht, hat sich durch eingehende Untersuchungen an Maltose[2]) in der Weise als richtig erwiesen, daß der Zucker offenbar in einem echten thermodynamischen Gleichgewicht mit einem primären Spaltprodukt,

einem C_3-Körper, steht, der vorläufig als Triose *x* bezeichnet wurde, da seine Konstitution noch nicht feststeht. Triose *x* stabilisiert sich z. B. durch Erhitzen leicht zu dem energieärmeren Methylglyoxal, das sich dementsprechend bei der Destillation einer Zuckerlösung im Destillat nachweisen läßt. Auf Grund dieses Verhaltens konnten die Gleichgewichtskonstanten Kc bei 100° für verschiedene Zucker bestimmt werden.

Es wurden von jedem der untersuchten Zucker gleiche Mengen 0,2 und 2proz. Lösungen unter Konstanthaltung des Volumens bei gleichen Bedingungen destilliert, bis 100 ccm Destillat übergegangen waren. In den Destillaten wurde das Methylglyoxal jodometrisch bestimmt. Aus den Mittelwerten jeweils mehrerer Versuche wurden in gleicher Weise, wie für Maltose bereits beschrieben[2]), die Gleichgewichtskonstanten errechnet:

Tabelle 1.

Zuckerart	Konzentrat. der Lösung g/Lit.	$Kc^{100°}$	$Kc^{100°}$ Mittelwert	Berechnet nach Formel
Saccharose	2	$1{,}40 \cdot 10^8$	$2{,}91 \cdot 10^8$	$Kc^{100} = \frac{[C_{12}H_{22}O_{11}]}{[C_3H_4O_2]^4\,[H_2O]^3}$
	20	$4{,}43 \cdot 10^8$		
Maltose	2	$2{,}14 \cdot 10^7$	$2{,}21 \cdot 10^7$	
	20	$2{,}28 \cdot 10^7$		
Galaktose	2	$0{,}86 \cdot 10^2$	$1{,}92 \cdot 10^2$	$Kc^{100} = \frac{[C_6H_{12}O_6]}{[C_3H_4O_2]^2\,[H_2O]^2}$
	20	$2{,}98 \cdot 10^2$		
Mannose	2	$0{,}86 \cdot 10^2$	$1{,}92 \cdot 10^2$	
	20	$2{,}98 \cdot 10^2$		
Glukose	2	$1{,}29 \cdot 10^2$	$1{,}88 \cdot 10^2$	
	20	$2{,}55 \cdot 10^2$		
Fruktose	2	$3{,}24 \cdot 10^1$	$4{,}21 \cdot 10^1$	
	20	$5{,}18 \cdot 10^1$		
Arabinose	2	$4{,}55 \cdot 10^3$	$5{,}61 \cdot 10^3$	$Kc^{100} = \frac{[C_5H_{10}O_5]}{[C_2H_4O_2]\,[C_3H_4O_2]\,[H_2O]}$
	20	$6{,}67 \cdot 10^3$		
Xylose	2	$3{,}30 \cdot 10^3$	$4{,}95 \cdot 10^3$	
	20	$6{,}61 \cdot 10^3$		

Der Berechnung der Konstanten für die in der Tabelle angeführten Pentosen, die in ihren Lösungen im Gleichgewicht mit 1 Mol Glykolaldehyd und 1 Mol Triose *x* bzw. Methylglyoxal stehen, wurden die Angaben von Fischler und Boettner[3]) zugrunde gelegt, nach welchen sich Methylglyoxal und Glykolaldehyd im Destillat wie $^2/_3$ bis $^3/_5$ zu $^1/_3$ bis $^2/_5$ verhalten.

Mit Ausnahme der Pentosen spiegelt sich das Reaktionsvermögen der Zucker in der Reihung der Gleichgewichtskonstanten wieder. Außer von der Temperatur ist die Lage der Gleichgewichte, wie bereits gezeigt[2]), von der Wasserstoffionenkonzentration der Lösung abhängig. Bei demselben p_H wurde auch eine Abhängigkeit der Gleichgewichtslage von der Natur der Säuren festgestellt. Dies gibt vielleicht Hinweise auf den Chemismus der Gleichgewichtsbeeinflussung durch die Elektrolyte. Die Temperaturabhängigkeit der Zucker-Triose-Gleichgewichte läßt sich mit der von Ariyama angegebenen kolorimetrischen Methode verfolgen.

Die Tatsache, daß man in Zuckerlösungen immer mit geringen Mengen an Triose *x* zu rechnen hat, verspricht wertvolle Aufklärung für die Kohlehydratchemie zu bringen.

Die Triose *x* muß als die eigentliche reaktionsfähige Komponente der Kohlehydrate angesehen werden. Wir sind der Ansicht, daß dadurch die Übergänge von den Kohlehydraten in andere Körperklassen, wie z. B. die Benzolringsynthese in der Pflanze, die Synthese von Heterozyklen, insbesondere die Bildung des Furan- und Pyrrolrings, die Biogenese des Lignins[4]) und andere physiologische Synthesen, eine zwanglose Erklärung finden. Auf die Bedeutung des Methylglyoxals für die Humusbildung wurde bereits hingewiesen[5]). Die Triose *x* ist offenbar auch für das Reduktionsvermögen der Zucker veranwortlich[6]). Inwieweit die Triose *x* an der Umwandlung der Zucker ineinander und für die charakteristischen Zuckerreaktionen, wie z. B. der Mutarotation, beteiligt ist, wird zur Zeit untersucht.

Die biochemische Phosphorylierung der Zucker erfolgt, nach noch nicht abgeschlossenen Versuchen, an der Triose *x*, wie unter anderem aus dem Ausbleiben der Phosphorylierung durch Hefe in Gegenwart von Dimedon hervorgeht. Der Sinn der Phosphorylierung ist vielleicht der, unter Ausnutzung der Gleichgewichtslage die Umwandlung der Zucker in die reaktionsfähige 3-C-Form zu beschleunigen und die offenbar sehr empfindliche Triose *x* vor unerwünschten Umlagerungen, die ihre Reaktionsfähigkeit herabsetzen, zu schützen. Wenn die normalerweise zum physiologischen Abbau der Triosephosphorsäuren dienenden Pyridinfermente der Zelle z. B. durch Toluolautolyse desorganisiert werden, geht die Phosphorylierung weiter. Da Triosephosphorsäuren im Gleichgewicht mit Hexosephosphorsäuren stehen[7]), kommt es dann zur Hexosephosphatanreicherung. Die Bildung von Methylglyoxal erfolgt durch Hydrolyse der allmählich rückläufig gebildeten Triosephosphorsäure. Die Hexosephosphatbildung wäre somit tatsächlich eine anomale Erscheinung und die Unvergärbarkeit der Hexosephosphorsäure damit erklärt.

Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Triose *x* mit der Hydratform des Glycerinaldehyds identisch ist, die als 1,3-Diphosphorsäureester von Warburg und Mitarbeitern[8]) als die reaktionsfähige Form der Kohlehydrate beim physiologischen Abbau angesehen wird.

München, Technische Hochschule und Wissenschaftliche Station für Brauerei, den 24. Dezember 1942. Curt Enders.
Sigurdur Sigurdsson

[1]) Enders u. Marquardt, Naturwiss. **29**, 46 (1941).
[2]) Enders, Biochem. Z. **312**, 349 (1942).
[3]) Fischler u. Boettner, Hoppe-Seylers Z. **177**, 264 (1928).
[4]) Enders, Biochem. Z. **312**, 339 (1942). — Hibbert, J. amer. chem. Soc. **61**, 725 (1939).
[5]) Enders, loc. cit. (4). — Enders u. Sigurdsson, Biochem. Z. **313**, 174 (1942). — Enders, Über den Chemismus der Huminsäurebildung unter physiologischen Bedingungen, III. u. IV. Mitteilung. Biochem. Z. (im Druck).
[6]) Enders, p_H-Abhängigkeit und Aufspaltung der Zucker zu Methylglyoxal II. Mitteilung Biochem. Z. (im Druck).
[7]) Meyerhof u. Kiessling, Biochem. Z. **271**, 89 (1934); **273**, 73, 413 (1934).
[8]) Warburg, Biochem. Z. **301**, 221 (1939). — Negelein u. Brömel, Biochem. Z. **301**, 135 (1939).

Zur Bemerkung von F. Machatschki in Heft 3/4 dieser Zeitschrift S. 43 über meinen Artikel „Isotypie und Isomorphie".

Die genannte Notiz erfordert lediglich die Feststellung, daß 1. Zn-Cu und Zinkblende-Magnetkies keineswegs meine (bzw. die schon von Mitscherlich, Groth, Grimm, Gossner, Niggli, Nernst usw. geforderten) Bedingungen der Isomorphie erfüllen, also kein Einwand gegen meine Definitionen gegeben ist, daß 2. meine Beispiele der Isotypie, Isomorphie und gekoppelten Diadochie nicht erschöpfend sein wollen, sondern bequem verdoppelt und verdreifacht werden können, und daß 3. Machatschkis eingeschränkte oder uneingeschränkte Annahme des Begriffes Isotypie *nach* seiner ursprünglichen generellen Ablehnung meines Erachtens (trotz der jedesmaligen Bemerkungen gegen mich) denn doch eine für die Sache erfreuliche, weitgehende Änderung des Standpunktes bedeutet.

Auf der in meinem Artikel genannten Arbeitstagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft ist die Fassung der Isotypie, Isomorphie usw. — ohne Ablehnung zu finden — vorgetragen worden; es wäre sehr zu begrüßen, wenn die weiteren einschlägigen Nomenklaturfragen — man denke an das genannte Zn-Cu, ZnS-FeS usw. — im Rahmen einer Be-

sprechung kristallographisch interessierter Kreise gleichfalls zur Klärung gebracht werden könnten.

Berlin, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, den 5. Januar 1943. H. STRUNZ.

Zur Spaltung von Virusproteinen der Tabakmosaik-Gruppe.

Läßt man Pyridin oder Natronlauge auf das Protein des normalen Tabakmosaikvirus einwirken, so zerfällt das Riesenmolekül unter Abspaltung von Nucleinsäure in zahlreiche kleinere Bruchstücke. Trotzdem ist das in sehr guter Ausbeute erhältliche nucleinsäurefreie Spaltprotein elektrochemisch einheitlich und scharf charakterisierbar (PFANKUCH 1941). Wir stellten nunmehr fest, daß Lösungen dieses Spaltproteins auch weitgehend homodispers sind. Das TM-Virus muß daher aus gleich großen und elektro-chemisch gleichen Bausteinen aufgebaut sein.

Als Sedimentationskonstante (SK.) fanden wir für das Spaltprotein sowohl bei Pyridin- wie bei Natronlaugespaltung bei einem p_H von 7,8 in m/20-Phosphatpuffer $s_{20} = 32$. Da die Spaltung des TM-Virus nachweisbar quer zur Längsachse des Moleküls erfolgt, kann man mit angenähert kugelförmigen Molekülen und normalen Reibungskoeffizienten rechnen. Mit einem Wert $f/f_0 = 1{,}20$ und der obigen SK errechnet sich für das Spaltprotein ein Molekulargewicht von 1,3 Millionen. Schreibt man dem Tabakmosaikvirus die Abmessungen $15 \cdot 160$ mμ zu, so beträgt sein Molekulargewicht 23 Millionen und das obige Spaltprotein stellt $^1/_{16}$ des ganzen Moleküls dar. Es ist nicht anzunehmen, daß dieses Protein bereits die kleinste Untereinheit im Virusmolekül darstellt, da Spaltungen mit Decyl- und Dodecylsulfat sehr viel weiter geführt werden können.

Größere Bruchstücke des TM-Virus lassen sich nachweisen, wenn die Spaltung unter milderen Bedingungen vorgenommen wird, z. B. bei gepufferten p_H-Werten von 11—12. In starker Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen (Konzentration, Einwirkungsdauer, Auszentrifugieren der höhermolekularen Anteile und Wiederlösen) lassen sich Proteinkomponenten entweder fast rein oder im Gemisch miteinander nachweisen mit den SKK 156, 125 und 85. Diese Komponenten sprechen wir als $^3/_4$-, $^1/_2$- und $^1/_4$-Moleküle an. Wir bestätigen damit die elektronenmikroskopischen Befunde von KAUSCHE, PFANKUCH und RUSKA (1941), die eine Längenstatistik beschallter Virusmoleküle aufstellten und in Abhängigkeit von der Beschallungszeit sprunghafte Verschiebungen der häufigsten Längen nach kleineren Werten hin, bis zu 80 mμ = halben Molekülen, feststellten.

Berlin-Dahlem, Dienststelle für Biochemie der Biologischen Reichsanstalt, den 5. Januar 1943.

E. PFANKUCH. F. PIEKENBROCK.

Über die Spaltung des Tabakmosaikvirus in niedermolekulare Proteine und die Rückbildung hochmolekularen Proteins aus den Spaltstücken.

Das Tabakmosaikvirus ist ein Nucleoproteid mit einem Molekulargewicht von etwa 23000000[1]). Wie physikalisch-chemische und elektronenmikroskopische Untersuchungen gezeigt haben, besitzt es eine charakteristische stäbchenförmige Gestalt mit einem Durchmesser von 15 mμ und einer Länge von etwa 200 mμ. Das TM.-Virus ist ein relativ stabiles Protein, das in einem p_H-Bereich von 2,5—9 lange Zeit unverändert bleibt. Um auf chemischem Wege Einblick in die Struktur dieses Riesenmoleküls zu erhalten, erscheint es notwendig, dieses unter möglichst milden Bedingungen in kleinere einfachere Bausteine zu zerlegen. Bei unseren elektrophoretischen Untersuchungen beobachteten wir nun oberhalb p_H 9 einen Zerfall des Virus in mehrere elektrochemisch verschiedene Komponenten. Diese knapp außerhalb der p_H-Stabilitätsgrenze auftretenden Spaltprodukte wurden näher untersucht. Durch präparative Anwendung des Elektrophoreseapparates von TISELIUS und der luftgetriebenen Ultrazentrifuge gelang es, 3 verschiedene einheitliche Eiweißstoffe zu isolieren. Diese erwiesen sich als 1. unverändertes Ausgangsmaterial, 2. ein niedermolekulares Nucleoproteid und 3. ein niedermolekulares, nucleinsäurefreies Protein.

Infolge ihres Nucleinsäuregehaltes besitzen die beiden erstgenannten Proteine eine hohe negative Ladung, wandern im alkalischen Gebiet schnell zur Anode und können auf diese Weise von der dritten, nucleinsäurefreien Komponente abgetrennt werden. Die Trennung des niedermolekularen Nucleoproteids von dem hochmolekularen Ausgangsmaterial erfolgte durch Zentrifugierung bei 25000 Touren-Minute, wobei das unveränderte TM.-Virus quantitativ ausgeschleudert wird. Bei einem unserer Versuche wurden aus 400 mg TM.-Virus nach 72stündigem Stehen bei 0° in $^m/_{100}$ Glykokoll/NaOH-Puffer von p_H 9,6 isoliert: 64 mg unverändertes TM.-Virus, 55 mg niedermolekulares Nucleoproteid und 100 mg nucleinsäurefreies Protein. Jede Fraktion wurde nochmals gereinigt und für sich untersucht.

Das nucleinsäurefreie Protein enthielt keine Phosphorsäure mehr und zeigte im Ultraviolett das Absorptionsspektrum eines reinen nucleinsäurefreien Eiweißstoffes. Die Untersuchung in der Ultrazentrifuge, elektrophoretische und Diffusionsmessungen zeigten, daß es sich um einen einheitlichen Eiweißstoff handelt. Die Beobachtung der Sedimentation in der Ultrazentrifuge erfolgte sowohl mit der Schlieren- als auch mit der Skalenmethode. In m/10-Phosphatlösung ergab sich die Sedimentationskonstante als Mittel von mehreren Versuchen zu $s_{20} = 8{,}7 \cdot 10^{-13}$ cm sec^{-1} dyn^{-1} (Fig. 1). Die Diffusionskonstante in der gleichen Salzlösung wurde gemeinsam mit G. BERGOLD nach der LAMMschen Methode zu $D_{20} = 2{,}2 \cdot 10^{-7}$ cm^2/sec bestimmt. Aus s_{20} und D_{20} berechnet sich für das Protein ein Molekulargewicht von 360000 (= $^1/_{70}$ des Molekulargewichtes von TM.-Virus). Auch in seinen elektrochemischen Eigenschaften ist das Protein einheitlich. Bei p_H 9 ist die anodische Beweglichkeit um 60% geringer als die des TM.-Virus.

In dieser Eigenschaft unterscheidet es sich von dem 2. Spaltprodukt, das bei diesem p_H etwa die gleiche Wanderungsgeschwindigkeit wie das TM.-Virus besitzt. Diese Spaltkomponente muß demnach noch Nucleinsäure enthalten. Es besitzt jedoch die gleiche Sedimentationskonstante und demnach wohl etwa das gleiche Molekulargewicht wie das nucleinsäurefreie Spaltprotein.

Beide Spaltkomponenten sind biologisch inaktiv. Ihrer Größe nach stimmen sie mit der röntgenographisch festgestellten Elementarzelle des TM.-Virus überein, die eine Dimension von $68 \cdot 87$ Å und ein Molekulargewicht von 370000 besitzen soll[2]); sie sind sicher verschieden von den Spaltprodukten, die von E. PFANKUCH[3]) durch Einwirkung von 5proz. NaOH aus dem TM.-Virus erhalten wurden. Die Eigenschaften der isolierten Komponenten sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Bezeichnung	1. TM-Virus	2. Nucleinsäurehaltiges Spaltprodukt	3. Nucleinsäurefreies Spaltprodukt
Sedimentationskonstante	175	8,7	8,7
Diffusionskonstante (cm^2/sec)	$\sim 0{,}3 \cdot 10^{-7}$	—	$2{,}2 \cdot 10^{-7}$
Molekulargewicht	$2{,}3 \cdot 10^7$	$3{,}6 \cdot 10^5$	$3{,}6 \cdot 10^5$
Beweglichkeit bei p_H 9*) (cm^2/sec V)	$-13 \cdot 10^{-5}$	$\sim -13 \cdot 10^{-5}$	$-5{,}3 \cdot 10^{-5}$
Biologische Aktivität in Prozenten der Standardlösung**)	100%	<1%	<1%

*) Gemessen in $^m/_{100}$-Glykokoll/NaOH bei 0°.

**) Die Aktivitätsbestimmungen wurden von G. MELCHERS im Einzelherdtest auf *Nicotiana glutinosa* durchgeführt.

wahrzunehmen, statt dessen war ein hochmolekulares Protein vorhanden, das die gleiche Sedimentationskonstante wie das TM.-Virus aufwies. Innerhalb der Genauigkeit der Beobachtungsmethode zeigte dieses synthetische hochmolekulare Protein die gleiche Einheitlichkeit wie das TM.-Virus (Fig. 2 und 3). Eine Polydispersität war nicht zu beobachten. Das synthetische hochmolekulare Protein zeigt in Lösung eine starke Strömungsdoppelbrechung und kristallisiert bei Zugabe von Ammonsulfat in den gleichen parakristallinen Nadeln wie das TM.-Virus. Auch durch elektronenmikroskopische Aufnahmen läßt sich zeigen, daß durch die p_H-Verschiebung die ursprüngliche Struktur des TM.-Virus wiederhergestellt wird. In der Lösung des niedermolekularen Proteins sind nur annähernd kugelförmige

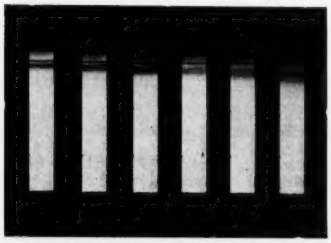


Fig. 1. Sedimentation des Spaltproteins. Zeitraum zwischen den Aufnahmen 5 Minuten, Drehzahl 26000/Minute.

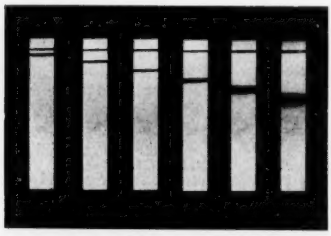


Fig. 2. Sedimentation des rückgebildeten hochmolekularen Proteins bei p_H 5,8. Zeitraum zwischen den Aufnahmen 5 Minuten, Drehzahl 18000/Minute.

Fig. 3. Sedimentation des normalen Tabakmosaikvirus bei p_H 5,8. Zeitraum zwischen den Aufnahmen 5 Minuten, Drehzahl 18000/Minute.

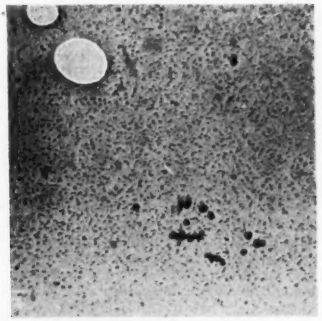


Fig. 4. Niedermolekulares Spaltprotein bei p_H 9.

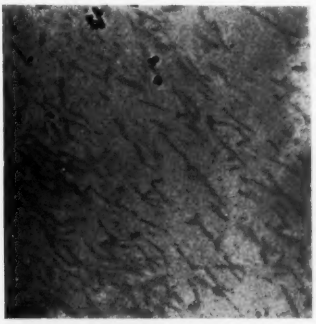


Fig. 5. Rückgebildetes hochmolekulares Protein bei p_H 5,8.

Fig. 6. Tabakmosaikvirus bei p_H 5,8.

Zu den Fig. 4—6: Die Aufnahmen wurden mit dem Siemens-Übermikroskop des Kaiser Wilhelm-Instituts für physikalische Chemie gemacht. Vergrößerung 1:40000. Zur Erleichterung der Scharfeinstellung wurde bei allen Aufnahmen etwas Goldsol zugegeben (tiefschwarze Partikel). Präparation: H. Friedrich-Freska. Photographie: H. Schaarwächter.

Teilchen mit einem Durchmesser von etwa 70 Å vorhanden (Fig. 4). Nach Zugabe von einigen Tropfen Essigsäure finden sich keine solche kleinen Teilchen mehr, sondern nur noch Stäbchen von der Form und Größe des TM.-Virus (Fig. 5 und 6). Dieses rückgebildete nucleinsäurefreie Protein besitzt jedoch keine biologische Wirksamkeit. Auch hinsichtlich seiner p_H-Stabilität unterscheidet es sich von dem TM.-Virus. Nur in einem p_H-Bereich von 4—6 besitzt es die gleiche Sedimentationskonstante wie das Virus. Darüber hinaus zerfällt es über Zwischenstufen wieder zu dem niedermolekularen Protein. Das synthetische hochmolekulare Protein zeigt also ein ganz ähnliches Verhalten wie andere hochmolekulare Eiweißstoffe, z. B. das Hämocyanin von Helix pomatia (Molekulargewicht 6700000), das nur in einem p_H-Bereich von 4,5—7,4 stabil ist, darüber hinaus aber reversibel in halbe, achtel und schließlich sechzehntel Moleküle zerfällt[4]). Es ist bemerkenswert, daß der Zusammentritt der Spaltstücke zu dem hochmolekularen stäbchenförmigen Protein auch ohne Nucleinsäure erfolgt.

Ein gleichartiges Verhalten zeigt auch das nucleinsäurehaltige Spaltprodukt. Auch dieses Protein läßt sich durch eine einfache p_H-Verschiebung in ein monodisperses hochmolekulares Protein von der Größe und Gestalt des TM.-Virus zusammenfügen. Die Rückbildung eines vermehrungsfähigen Virus aus dem inaktiven niedermolekularen Nucleoproteid ist auch in diesem Falle bisher nicht gelungen.

Wenn dieses Ziel auch noch offen bleibt, so lassen sich doch aus den bisherigen Beobachtungen bereits wichtige Schlüsse auf die Struktur des TM.-Virus ziehen: 1. Das TM.-Virus besteht aus etwa 70 der Masse und Ladung nach gleichen Proteinteilchen, die der Größe nach mit der röntgenographisch gefundenen Elementarzelle des TM.-Virus übereinstimmen. Da die Zahl dieser Untereinheiten mit der Anzahl der im Virus enthaltenen Nucleinsäuremoleküle (Molekulargewicht 11000[5])] übereinstimmt, und außerdem die Isolierung der nucleinsäurehaltigen Spaltstücke gelungen ist, ist anzunehmen, daß jede Untereinheit ein Molekül Nucleinsäure enthält. Trotzdem besitzen die Untereinheiten als solche keine Fähigkeit zur Selbstvermehrung.

2. Die Größe und Gestalt des TM.-Virus ist bedingt durch die Eigenschaften der Untereinheiten. Das Virus stellt anscheinend eine energetisch begünstigte Anordnung dieser Untereinheiten dar, für deren Zustandekommen die Anwesenheit eines lebenden Organismus nicht notwendig ist.

3. Die charakteristische Gestalt und Größe des TM.-Virus ist nicht an das Vorhandensein der Nucleinsäure gebunden. Die Untereinheiten sind also nicht durch Nucleinsäurebrücken miteinander verknüpft.

Berlin-Dahlem, Arbeitsstätte für Virusforschung der Kaiser Wilhelm-Institute für Biochemie und Biologie, den 19. Januar 1943. G. Schramm.

[1]) G. Schramm u. H. Müller, Hoppe-Seylers Z. **266**, 43 (1940).
[2]) J. D. Bernal u. J. Fankuchen, J. gen. Physiol. **25**, 147 (1941).
[3]) E. Pfankuch, Biochem. Z. **306**, 125 (1940).
[4]) I. B. Erikson u. T. Svedberg, Biol. Bull. **71**, 498 (1936).
[5]) S. S. Cohen u. W. M. Stanley, J. of biol. Chem. **140**, 833 (1941).

Magnetische Eigenschaften des mit Kohlenstoff übersättigten Nickels.

Nach H. Lange[1]) nimmt die Sättigungsmagnetisierung eines mit Kohlenstoff übersättigten Nickels linear mit steigender Temperatur ab; Lange deutet dieses völlig anomale Verhalten als eine Folge starker Spannungen durch den gelösten Kohlenstoff in Verbindung mit magnetostriktiven Erscheinungen. Wir haben gefunden, daß nur im Bereich zwischen etwa Raumtemperatur und 300°, *nicht* aber zwischen 0° und −200° die Abhängigkeit der Magnetisierung von der Temperatur anomal ist. Die nähere Untersuchung ergab folgende Ergebnisse:

a) Die Koerzitivkraft nimmt zwischen −200° und etwa +50° normal ab, bleibt dann aber bis über +300° konstant.

b) Im Bereich des anomalen Verlaufs der Sättigungstemperaturkurve ist auch bei 3000 Oe scheinbar noch keine Sättigung erreichbar, sogar absolut und erst recht prozentual weniger als bei tieferen Temperaturen. Das spricht für das Vorhandensein zahlreicher Curiepunkte in diesem Bereich; die Zunahme der Magnetisierung in starken Feldern ist wahre Magnetisierung.

c) Die prozentuale Remanenz steigt unter 0° an.

Sämtliche Ergebnisse sind zwanglos folgendermaßen deutbar[2]):

Die Langesche Nickel-Kohlenstoff-Legierung besteht aus einer definierten ferromagnetischen Substanz mit einer Curietemperatur von rund +50° und aus einer größeren Anzahl von ferromagnetischen Nickel-Kohlenstoff-Legierungen mit abnehmendem oder undefiniertem Kohlenstoffgehalt. —

Nach Anlassen auf 600° erscheint (wie auch Lange fand) die normale Temperaturabhängigkeit der Sättigungsmagnetisierung. Der von uns verfolgte Übergang ist zwanglos als eine Ausscheidung des Kohlenstoffs (allmähliche Annäherung an reines Nickel, dabei Erhöhung der niedrigen Curietemperatur) zu deuten, wobei eine erhebliche Härtung eintritt (Zunahme der Koerzitivkraft). Nach erfolgter Ausscheidung haben alle magnetischen Eigenschaften normale Temperaturabhängigkeit.

Die ausführliche Wiedergabe der Ergebnisse erfolgt in der Z. Elektrochem.

München, Physikalisches Institut der Universität, den 16. Januar 1943. Walther Gerlach. Jakoba von Rennenkampff.

[1]) H. Lange, in „Probleme der technischen Magnetisierungskurve". S. 168, Abb. 13. Hrsg. von R. Becker. Berlin: Springer 1938.
[2]) Vgl. auch W. Gerlach, ebenda S. 141.

Die Kristallstrukturen von $LaMg_2$ und $CeMg_2$.

Nach den Erfahrungen[1]) über den Einfluß geometrischer Faktoren auf die stöchiometrische Zusammensetzung metallischer Verbindungen sowie speziell über die Existenzbedingungen der $MgCu_2$-, $MgZn_2$-, $MgNi_2$-Typen sollte man erwarten, daß Verbindungen der Zusammensetzung $LaMg_2$ und $CeMg_2$ existieren und in einem dieser drei Typen kristallisieren, auch wenn sie bei der thermischen Analyse der Systeme nicht aufgefunden wurden[2]). Diese Vermutung wurde durch die röntgenographische Untersuchung von Legierungen dieser Zusammensetzung bestätigt. $LaMg_2$ und $CeMg_2$ kristallisieren im $MgCu_2$-Typ mit den Gitterkonstanten $a = 8{,}77 \pm 0{,}01$ ($LaMg_2$) und $a = 8{,}71 \pm 0{,}01$ ($CeMg_2$).

Frl. A. Runge danke ich für ihre Hilfe bei der Untersuchung und dem Stifterverband der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Bewilligung von Geldmitteln.

Ausführlichere Darstellung der Versuchsergebnisse soll später an anderer Stelle erfolgen.

Göttingen, Mineralogisches Institut der Universität, den 12. Januar 1943. F. Laves.

[1]) F. Laves, H. J. Wallbaum, Z. anorg. u. allg. Chem. **250**, 110 (1942) sowie F. Laves, Naturwiss. **27**, 65 (1939). Dort auch weitere Literaturangaben.
[2]) Literatur siehe bei M. Hansen, Aufbau der Zweistofflegierungen. Berlin: Springer 1936.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Fritz Süffert, Berlin W 9.
Springer-Verlag in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.